

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1920

THÈSE

4^N

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Par Louis MOUTARD

LE

TUBE COOLIDGE A RADIATEUR

ET SON

UTILISATION PRATIQUE EN RADIODIAGNOSTIC:

LE "MEUBLE COOLIDGE"

Président : M. ANDRÉ BROCA, professeur.



A. MALOINE ET FILS, ÉDITEURS

27, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 27

PARIS 1920

41

THÈSE
POUR
LE DOCTORAT EN MÉDECINE

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1920

— THÈSE —

N° —

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Par Louis MOUTARD

LE

TUBE COOLIDGE A RADIATEUR

ET SON

UTILISATION PRATIQUE EN RADIODIAGNOSTIC:

LE " MEUBLE COOLIDGE "



Président : M. ANDRÉ BROCA, professeur.

A. MALOINE ET FILS, ÉDITEURS

27, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 27

— PARIS 1920 —

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Doyen.	M. ROGER.
Professeurs	MM.
Anatomie	NICOLAS.
Anatomie médico-chirurgicale	CUNEO.
Physiologie	Ch. RICHET.
Physique médicale	WEISS.
Chimie organique et chimie générale.	DESGREZ.
Bactériologie.	BESANÇON.
Parasitologie et Histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales	N...
Pathologie médicale	N...
Pathologie chirurgicale.	N...
Anatomie pathologique.	LETULLE
Histologie.	PRENANT.
Opérations et appareils.	DUVAL.
Pharmacologie et matière médicale	POUCHET.
Thérapeutique	CARNOT.
Hygiène	BERNARD.
Médecine légale.	BALTHAZARD
Histoire de la médecine et de la chirurgie.	MENETRIER.
Pathologie expérimentale et comparée	ROGER.
	ACHARD.
Clinique médicale	WIDAL.
	GILBERT.
	CHAUFFARD
	MARFAN.
	HUTINEL.
Hygiène et clinique de la première enfance	DUPRE.
Clinique des maladies des enfants.	JEANSELME.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale.	P. MARIE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	TESSIER.
Clinique des maladies du système nerveux.	DELBET.
Clinique des maladies contagieuses	GOSSET.
	LEJARS.
Clinique chirurgicale.	HARTMANN.
	DE LAPERSONNE
Clinique ophtalmologique	LEGUEU.
Clinique des maladies des voies urinaires	BAR.
	COUVELAIRE.
Clinique d'accouchements.	RIBEMONT-DES-SAIGNES.
	J.-L. FAURE.
Clinique gynécologique.	BROCA.
Clinique chirurgicale infantile	VAQUEZ.
Clinique thérapeutique	SEBILEAU.
Clinique d'oto-rhino laryngologie	

Agrégés en exercice.

MM.			
ALGLAVE	JEANNIN	LÉRI	ROUSSY
BRANCA	JOUSSET (ANDRÉ)	LOEPER	ROUVIERE
CAMUS	LABBÉ (HENRI)	MOCQUOT	SCHWARTZ
CASTAIGNE	LAIGNEL-LAVAS	MULON	SICARD
CHAMPY	TINE	NOBECOURT	TANON
CHEVASSU	LANGLOIS	OKINCZYC	TERRIEN
DESMAREST	LECENE	OMBREDANNE	TIFENEAU
GOUGEROT	LEMIERRE	RATHIER	VILLARET
GREGOIRE	LENORMANT	RETTERER	ZIMMERN
GUENIOT	LEQUEUX	RIBIERRE	
GUILLAIN	LEREBOULLET	RICHAUD	

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MON MAÎTRE

M. le D^r BÉCLÈRE

*Hommage de ma reconnaissance et de
mon respectueux attachement.*

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

M. le Professeur ANDRÉ BROCA

*En remerciement du grand honneur
qu'Il nous a fait en acceptant la prési-
dence de cette thèse.*

A MON MAÎTRE

M. le D^r MAINGOT

*En reconnaissance des enseignements
technique et clinique qu'Il nous a pro-
digés durant notre passage dans son
Laboratoire de Radiologie.*

A MES MAÎTRES :

M. le Professeur PRENANT

M. le Professeur agrégé WALTHER

M. le D^r BROCCQ

M. le D^r CLAISSE

M. le Professeur agrégé THIROLOIX

M. le D^r BAUMGARTNER

M. le D^r BRULÉ

M. le D^r MARTIN

M. le D^r MAINGOT

M. le D^r BOURCY (*in memoriam*)
des Hôpitaux de Paris.

M. le Professeur MESNIL

M. le D^r ROUBAUD,
de l'Institut Pasteur

M. le Professeur GUERMONPREZ

M. le Professeur DEBIERRE

M. le Professeur agrégé GERARD,
des Facultés de Médecine de Lille

A LA MÉMOIRE DU D^r FRANÇOIS JAUGEAS

A LA MÉMOIRE DE MES CAMARADES
DU SERVICE DE SANTÉ
MORTS PENDANT LA GUERRE
ET DE TOUS LES FRANÇAIS
TOMBÉS POUR LA DÉFENSE DE LA PATRIE

LE
TUBE COOLIDGE A RADIATEUR

ET SON

UTILISATION PRATIQUE EN RADIODIAGNOSTIC :

LE " MEUBLE COOLIDGE "

INTRODUCTION

Comme toutes les sciences modernes, la Radiologie prend de jour en jour une extension plus grande dans le domaine des applications pratiques.

Depuis le jour récent encore — fin décembre 1895 — où dans son laboratoire de Würzburg au cours d'une expérience heureuse, William Roentgen remarquait pour la première fois l'illumination subite d'un sel de baryum proche d'un tube cathodique traversé par des décharges électriques, la science des Rayons X a marché à pas de géants. Et grâce au labeur fécond d'hommes éminents et d'ingénieurs habiles, de simple procédé de laboratoire médical, elle envahit maintenant le domaine de l'industrie.

Dans le domaine de la médecine, non contente d'être une aide précieuse pour le clinicien, dont elle

confirme les diagnostics à moins qu'elle ne les éclaire, la radiologie aspire maintenant à le seconder dans sa thérapeutique.

Le temps est loin des installations rudimentaires alimentant une modeste ampoule qui supportait à peine un milliampère et qui exigeait une heure pour faire une radiographie ! A des applications nouvelles toujours plus nombreuses la radiologie a répondu par l'emploi d'appareils nouveaux toujours plus puissants. Et là comme ailleurs le perfectionnement et la puissance ont engendré ces deux facteurs habituels qui les accompagnent : complication et danger de maniement.

Mais aujourd'hui, grâce à la découverte de l'effet Edison, grâce à l'application qu'en tirât Coolidge, la radiologie entre dans une phase pratique : la simplicité du réglage et la souplesse du rayonnement X dû à l'emploi des tubes à cathode incandescente, permettent aux radiologistes d'utiliser et de doser les Rayons X avec une précision jusqu'alors délicate ; à la puissance et au danger, les ingénieurs ont répondu par des appareils de protection. Et de la collaboration des uns avec les autres il s'est fait que, maintenant, il devient possible d'accroître le champ de leur utilisation en confiant l'usage des Rayons X à des mains moins expertes, et au médecin, après quelques instants d'initiation, de s'essayer au radiodiagnostic. Mais il ne faut point oublier toutefois la nécessité de la clinique, et que là comme dans les autres branches de l'art médical, il ne suffit point de *savoir* et de *regarder* mais bien de *savoir regarder* en vue de l'interprétation des images et des signes.

Nous n'avons point l'intention dans ce travail d'entvisager la clinique radiologique, mais bien son acte préparatoire et auxiliaire, la technique appliquée au Tube Coolidge à Radiateur et à l'emploi de l'appareillage de maniement si facile qu'est le « Meuble Coolidge ».

Mais en étudiant notre sujet nous avons senti la nécessité qu'il y aurait à considérer spécialement les principes des appareils, — Tube Coolidge à Radiateur, transformateurs, dispositifs de protection — groupés dans ce matériel, et aussi leur théorie, puisque cette théorie régit leur construction, indique leur emploi et met en garde contre leurs dangers. Car, là comme ailleurs, les explications et leur intelligence valent mieux pour la pratique que toutes les règles.

Aussi nous basant sur cet axiome étudierons-nous tout d'abord le *Tube Coolidge à Radiateur*, son principe et ses caractéristiques qui gèrent la construction des appareils. Puis ces *appareils* eux-mêmes, transformateurs, sources de la puissance qui alimente le tube, leur construction, leur fonctionnement et leur contrôle. Mais des appareils plus puissants ont engendré des risques plus nombreux, d'où la nécessité de *dispositifs de protection* contre le rayonnement X et la haute tension, dispositifs si perfectionnés à l'heure actuelle que certains « Meubles Coolidge » résument en même temps ces trois termes.

Nous nous sommes efforcés de rendre cette étude aussi pratique que possible, simplifiant les calculs arides de l'électrotechnique là où ils étaient indispensables pour énoncer les règles et les expliquer, nous

renseignant auprès des constructeurs (1) sur les appareillages montés ou à l'étude dans leurs ateliers ou leurs laboratoires.

Puisse ce travail paraître mieux qu'un « catalogue raisonné ». Qu'il rappelle à certains des principes électriques oubliés depuis longtemps, prenant pour guide le conseil de notre Maître le D^r A. Bécclère : « Pour ma part, quelque'appareil que se proposent d'acheter les jeunes médecins désireux de manier les Rayons X, je leur conseillerai d'apprendre d'abord les éléments de radiologie et d'électrologie, de manière à savoir ce qu'ils font et à ne pas manier les appareils en question comme un orgue de Barbarie ou un moulin à café. »

J'espère, grâce à son aide éclairée et bienveillante, avoir contribué à cette œuvre.

1. Que nous remercions ici pour la facilité avec laquelle ils se sont mis à notre disposition et plus particulièrement MM. Pilon et Gallot, Raulot-Lapointe, du Parc et Casel.

PREMIÈRE PARTIE

LE TUBE COOLIDGE A RADIATEUR

I. *Principe.* — II. *Caractéristiques.* — III. *Rendement.*
IV. *Résultat et Utilisation pratique des caractéristiques.*

I. — PRINCIPE DU TUBE COOLIDGE

Sans entrer dans leur théorie, nous nous souviendrons que les Rayons X produits sont toujours engendrés par l'arrêt des corpuscules cathodiques sur l'anticathode. Et en cela les ondes électro-magnétiques engendrées par le Tube Coolidge à Radiateur ne diffèrent point de celles engendrées par les tubes radiogènes ordinaires à gaz raréfiés.

Mais, dans les tubes ordinaires la décharge est régie par la quantité de gaz présente dans le tube, et l'afflux cathodique étant lui-même sous la dépendance des ions positifs, par conséquent des molécules gazeuses sont nécessaires aux mouvements de ces ions.

Si les molécules gazeuses sont nombreuses, si le tube est *mou*, peu résistant, l'afflux cathodique est puissant et la différence de potentiel faible aux bornes du tube ; il fournit une *grande quantité* de

rayons *peu pénétrants* ; mais si les molécules gazeuses se raréfient, que le tube devienne *dur*, résistant, l'afflux cathodique est moins abondant (intensité faible) et la différence de potentiel croîtra donnant *peu* de rayons *très pénétrants*, de faible longueur d'onde.

Donc plus les molécules gazeuses diminueront dans le tube, plus l'afflux cathodique diminuera jusqu'à s'annuler produisant des rayons de plus en plus pénétrants mais de plus en plus rares sous une différence de potentiel de plus en plus élevée. Ces tubes sont donc *caractérisés par une variation simultanée et en sens inverse de la pénétration et de l'intensité*, celle-ci tendant à s'annuler quand l'autre s'accroît.

Dans le tube Coolidge au contraire, ces deux facteurs semblent pouvoir évoluer indépendamment l'un de l'autre dans certaines limites, et ce fait, qui en constitue les propriétés principales, semble dû à cette particularité dans le *tube Coolidge*, que le *faisceau cathodique est formé d'électrons dont l'émission par la cathode est liée uniquement à la température de celle-ci* ; c'est là le *phénomène ou effet Edison*.

Cet auteur avait remarqué vers 1885 que la lampe à filament de carbone une fois incandescente émettait une décharge négative. Puis Richardson, poursuivant ces recherches reconnut, et avec lui Thompson, que les corps incandescents, en particulier les filaments métalliques émettaient des rayons cathodiques en grande quantité.

Certains s'essayèrent d'appliquer ces principes aux ampoules radiogènes comme sources d'électrons

négatifs ; et parmi eux Lilienfeld en Allemagne, Coolidge en Amérique obtinrent des résultats satisfaisants.

Les tubes Coolidge sont bien connus à l'heure actuelle des radiologistes français. Ils comportent trois types : les *tubes Standard*, à refroidissement de l'anticathode par radiation — plusieurs modèles différant les uns des autres par la finesse de leur point d'impact ; les *tubes à radiateur*, à refroidissement de l'anticathode par un radiateur à ailettes — deux modèles pouvant supporter, l'un 10 milliampères, l'autre 30 milliampères suivant la largeur du point d'impact ; et le *tube dentaire*, analogue comme principe au précédent, les électrodes étant placées à angle droit afin de permettre l'approche de la partie à radiographier.

Nous considérerons simplement, au cours de cette étude, le TUBE COOLIDGE A RADIATEUR.

II. — DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

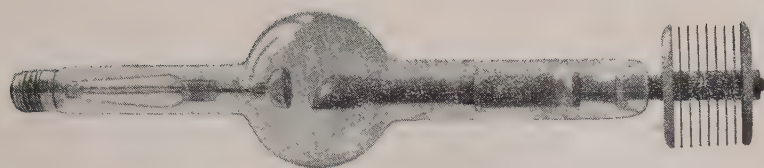
Décrire le tube à radiateur, c'est énoncer en même temps ses caractéristiques :

A. — Vide très poussé.

En effet pour supprimer toute émission d'électrons dans ce tube, il était nécessaire d'y réaliser un vide presque absolu au moment de la construction. Et dans le Tube à radiateur le vide est poussé au point de ne signaler aucun des phénomènes d'ionisation positive si l'on se tient dans les limites de fonctionnement pour lesquelles il a été construit : malgré les artifices de construction, les électrodes contiennent encore des gaz occlus, gaz qui seraient libérés au delà des limites de fonctionnement.

Comme tous les tubes, même à gaz raréfiés, les tubes Coolidge sont reliés à la haute tension pendant le vidage ; dans le cas du tube à radiateur, les ateliers de construction emploient presque toujours des auto-transformateurs à cet effet, à seule fin de pouvoir faire varier la tension aux extrémités du tube. Mais la source de chauffage du filament est indépendante.

Et pratiquement, la durée du pompage, les conditions de surveillance, etc., varient d'un tube à l'autre.



Cathode

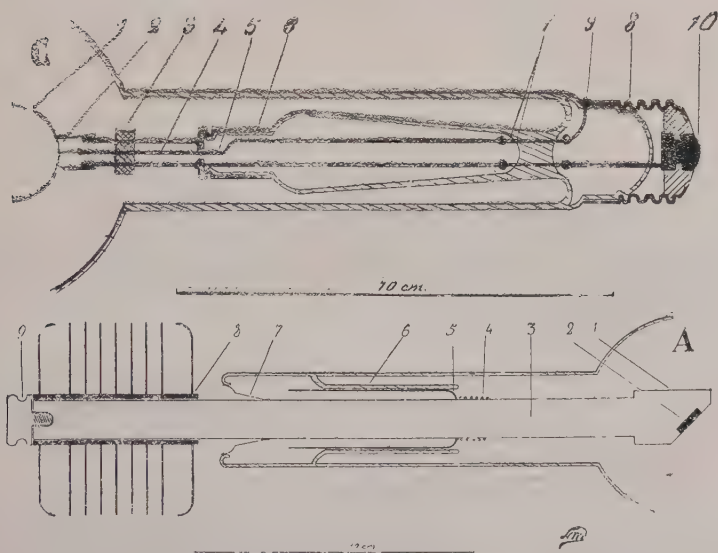
Anode

Radiateur

TUBE COOLIDGE à RADIATEUR

(Etablissements GAIFFE-GALLOT et PILON).

FIG. 1.



C. CATHODE DU TUBE COOLIDGE A RADIATEUR

1, Pièce de centrage; 2, spirale de Tungstène; son extrémité extérieure est soudée à la pièce de centrage; 3, pièce en matière isolante servant à maintenir les fils conducteurs; 4, fil conducteur aboutissant au centre de la spirale; 5, fil conducteur soudé à la pièce de centrage; 6, pièce métallique supportant la cathode; 7, fils de platine servant aux conducteurs pour traverser le verre; 8, douille Edison, le fil 4 lui est directement soudé en 9; 10, pastille métallique, entourée de matière isolante, à laquelle est soudé le fil 5.

A. ANODE-ANTICATHODE DU TUBE COOLIDGE A RADIATEUR

1, tête d'anticathode; 2, pastille de Tungstène; 3, corps de l'anticathode; 4, collier de serrage maintenant la pièce suivante; 5, bague cylindrique formant ressort et pénétrant à frottement dans le manchon de verre, 6, pour centrer l'anode; 7, collet de platine soudant l'anode au tube; 8, radiateur de cuivre noirci et sa vis de contention, 9.

FIG. 2.

B. — Cathode incandescente.

Pendant la marche du tube, on remarque que la section du circuit filament entraîne la section du circuit haute tension, tandis qu'au contraire son incandescence permet le fonctionnement du tube.

Source électronique négative, cette cathode est réalisée au moyen d'une spirale de tungstène enroulée suivant un diamètre de 3 millimètres, logée au fond d'une capsule très creuse, dispositif de centrage rappelant la cathode d'un tube à Rayons X ordinaire.

De cette spirale, et pour obtenir son incandescence, les origines seront connectées avec une source de basse tension, de puissance moyenne (10 volts, 5 ampères environ) au moyen d'un raccord à vis Edison monté à l'extrémité cathodique du tube.

C. — Anticathode-anode froide.

Placée dans l'axe de la cathode, cette anticathode est constituée par une pastille de tungstène laminé de 9 mm. 5 de diamètre et 2 mm. 5 d'épaisseur, autour de laquelle est coulée une masse cylindrique de cuivre rouge ; tourné et calibré cet ensemble ou *tête d'anticathode* est soudé électriquement au *corps de l'anticathode*, également en cuivre, opérations faites dans le vide afin d'obtenir une purge d'air aussi parfaite que possible.

Les soudures verre-métal sont obtenues par l'intermédiaire d'un coliet soit en platine soit en métal *Demet*, se rapprochant comme coefficient de dilata-

tion de celui de cristaux spéciaux employés pour ces soudures (1).

Le corps de l'anticathode est prolongé au dehors du tube par un cylindre de cuivre de 1 cm. 6 de diamètre sur lequel s'emboîte à frottement un radiateur à ailettes de cuivre noirci, dissipant au fur et à mesure dans l'air la chaleur venue par conductibilité de l'anticathode toute entière, anticathode dont la valeur calorifique est de 81 calories par degré centigrade.

D. — Auto-sélection.

Son poids total est voisin de 865 grammes ; fonctionnant entre des limites déterminées, ce tube joue en même temps le rôle de soupape. En effet, par suite de l'anticathode refroidie, la cathode incandescente émettra seule des électrons négatifs, et seulement lorsque le filament chauffé sera au pôle négatif (avantage sur le tube Standard dans lequel l'anticathode rougie peut devenir source électronique). Par contre, il doit fonctionner seulement entre des limites fixées, afin d'éviter l'échauffement de l'anticathode.

F. — Puissance.

La puissance limite qu'il est capable de supporter oscille entre 500 et 600 watts.

Son régime de marche continue ne doit point dé-

1. Pratiquement le constructeur préfère recourir au platine, de prix plus élevé il est vrai, mais plus résistant et dont les déchets conservent encore une valeur commerciale.

passer 3 à 5 milliampères sous 55000 volts et son régime de marche très brève 10 milliampères et 30 milliampères suivant le modèle.

F. — Dimensions.

Le Tube Coolidge à Radiateur est de tout petit diamètre, 7 à 8 centimètres, et la longueur du capuchon cathode au radiateur est de 45 centimètres environ.

Le radiateur est démontable de manière à faciliter le transport en diminuant le poids (1).

1. Pour permettre aussi le remplacement par un radiateur froid, ou le refroidissement du radiateur chaud en le trempant dans l'eau par exemple (H. Filon).

III. — RENDEMENT

Nous avons vu précédemment que, pour fonctionner, le Tube Coolidge à Radiateur exigeait la connexion de l'anticathode au pôle positif du transformateur de haute tension, tandis que la cathode devait être reliée d'une part au pôle négatif du transformateur, d'autre part à une source accessoire à basse tension susceptible d'échauffer le filament cathodique, source accessoire d'intensité variable, de même que le transformateur pourra être à potentiel variable.

Nous étudierons par la suite les différents dispositifs réalisant ces conditions que nous devons admettre pour l'étude des propriétés physiques du tube et de son fonctionnement.

A. — Rayonnement.

Le vide du tube étant très poussé, nous en déduisons : 1° qu'il ne présentera pas d'afflux cathodique contrairement aux ampoules ordinaires, donc le nombre d'électrons dégagés dépendra uniquement de la température du filament cathodique, source de ces électrons ;

2° Tout l'intérieur du tube sera à un potentiel négatif, donc les rayons cathodiques secondaires repous-

sés de partout seront attirés par les parties latérales de l'anticathode (1). Mais alors qu'au début les conditions simples du fonctionnement de ce tube alimenté par un courant constant avaient fait supposer l'émission d'un faisceau X homogène, les expériences de Duane et Hunt d'une part, celles de Rutherford, Barnes et Richardson entreprises par la méthode des filtrations croissantes, montrèrent que le faisceau X devient homogène pour une relation entre le coefficient d'absorption μ et la longueur d'onde λ exprimée par la formule

$$\mu = K\lambda^{\frac{2}{5}}$$

Pratiquement les courbes données par ces auteurs permettent de conclure qu'une filtration forte est d'autant plus nécessaire que le voltage est plus élevé, mais que pratiquement à partir de 10 millimètres les variations de μ sont peu sensibles même à 95000 volts.

Au cours d'expériences analogues concernant l'étude du faisceau, Richard, après mesure de l'intensité du faisceau émergeant au moyen du fluoromètre du Dr Guilleminot, a comparé les résultats, obtenus, par la méthode des filtrations progressives, des quatre tubes suivants : Chabaud-Thurneyssen, Pilon OM, Coolidge-Standard et Coolidge-Radiateur expérimentés à 1 milliampère et 12 centimètres d'étincelle équivalente (2).

1. La répartition de la charge repoussant les rayons cathodiques secondaires explique l'apparition, quelquefois, de lueurs vertes dans le col du tube où les charges sont positives.

2. Il est à remarquer toutefois que la construction, les conditions de fonctionnement, d'amorçage et de résistance de ces divers tubes les rendent très différents comme valeur les uns des autres.

La construction des courbes représentatives nous montre que le T. C. R. a le faisceau le plus homogène et le moins riche en rayons mous.

ÉPAISSEUR DU FILTRE	0	1	2	3	4	5	6	7
Tube Chabaud	134	78	49	34	26	20	17	14
Tube Coolidge Standard. .	120	60	38	27	18	13	10	7
Tube Pilon O. M.	90	48	30	19	10	6	»	»
Tube Coolidge à Radiateur.	80	48	32	22	15	11	7	»

B. — Rendement.

Rapport de l'énergie roëntgienne à l'énergie cathodique, le rendement a été établi en 1913 par l'équation de Beatty.

$$R = \frac{\text{Energie X}}{\text{Energie cathodique}} = \frac{I_1}{I_2} = 2,54 \times 10^{-4} A^{\beta^2}$$

dans laquelle A est le poids atomique de l'anticathode et β la vitesse des rayons cathodiques, la vitesse de la lumière prise comme unité. D'où, première remarque : avantage de l'anticathode à poids atomique élevé : Platine (PA = 195,2) ou tungstène (PA 184) (1).

Seconde remarque: le rapport considéré croît avec le carré de la vitesse des particules cathodiques,

1. Quoique dans une communication à la Société Française de Physique (2 juin 1916) MM. de Broglie et Blizard ont obtenu avec des tubes Pilon OM, l'un à anticathode de platine, l'autre à anticathode de tungstène, des spectres montrant que les raies caractéristiques du platine sont émises avec une intensité supérieure à celle du tungstène, mais que la *bande pénétrante*, agent principal en radiographie,

vitesse proportionnelle à la tension aux bornes du tube. Donc le rendement sera proportionnel à la tension utilisée.

Réel pour les moyens voltages, jusqu'à 23000 volts, limite des expériences de Beatty, ce rapport décroît brusquement avec les tensions plus élevées, ainsi que Rutherford et Barnes le démontrèrent en 1915.

Et d'après ces auteurs le rapport serait :

$$R = \frac{\text{Energie X}}{\text{Energie cathodique}} = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{v}{V}$$

v étant égal à 33 volts, V la différence de potentiel aux bornes de l'ampoule, I_2 le courant passant dans l'ampoule et I_1 le courant d'ionisation après l'absorption complète de la radiation par des vapeurs d'iode d'éthyle (procédé de Beatty). C'est-à-dire, dans les limites de fonctionnement de notre ampoule :

Voltage	$\frac{I_1}{I_2}$	Rendement	β^2	Rendement
48.000	0,86	$0,59 \times 10^{-3}$	0,265	$3,6 \times 10^{-3}$
64.000	1,44	$0,74 \times 10^{-3}$	0,211	$3,5 \times 10^{-3}$

Ces limites de fonctionnement étant en régime normal de 36 KV (6,5 étincelle équivalente, 4°B) à 55 KV (11 cm. étincelle équivalente, 6°B), et pendant des fractions de minute jusqu'à 80 KV (17,5

est au moins aussi intense dans le spectre du tungstène que dans celui du platine. La différence peu accusée est en faveur du tungstène.

D'autre part, d'après Rutherford, il serait plus exact de dire que c'est le *nombre atomique* ($Pt \approx 78$; $W \approx 74$), plus que le *poids atomique* qui intervient ici.

étincelle équivalente, 8°B), chaque accroissement de 1 centimètre de longueur de l'étincelle équivalente correspondant à environ 4 Kvolts.

De travaux du professeur Cluzet, de Lyon, et d'expériences de G. Richard, toujours par la méthode des filtrations progressives, il faut déduire que le Coolidge à Radiateur (1) possède un rendement inférieur à celui du Standard, lui-même légèrement inférieur (0,917) à celui du Chabaud, fait dû probablement à l'anticathode de tungstène de poids atomique moins élevé que le platine et à cette même anticathode refroidie.

Expérimentalement, G. Richard a constaté « que ce type de Coolidge a un rendement légèrement inférieur aux ampoules intensives à gaz raréfiés, mais que le faisceau X de cette Coolidge est plus homogène si bien que la partie absorbée du rayonnement est moins élevée; aussi, avec une filtration de 1 millimètre d'aluminium, la même quantité de rayonnement émerge du filtre que l'on emploie un Coolidge à Radiateur ou un tube O M; à partir de 3 millimètres l'avantage est à la Coolidge. Si nous nous souvenons que 1 millimètre d'aluminium retient à peu près autant de rayonnement que 1 centimètre de tissus mous, nous pouvons conclure que le rayonnement émergeant du membre à radiographier, le seul utile, capable d'impressionner la plaque ou d'illuminer l'écran fluorescent, est aussi important, sinon plus dans le cas du Coolidge; donc son rendement pra-

1. Abstraction faite de la valeur différente de ces tubes, ainsi que nous l'avons déjà vu.

tique, au point de vue du radiodiagnostic, est au moins égal à celui des tubes intensifs à gaz raréfiés ».

C. — Endurance.

Un autre avantage du Tube Radiateur réside dans son endurance, c'est-à-dire dans sa résistance à l'intensité et au voltage.

Construit de telle façon qu'il ne puisse supporter sans dommage une différence de potentiel supérieure à environ 85 KV maxima, soit environ 55 à 60 K-volts efficaces correspondant à 11 ou 12 centimètres d'étincelle équivalente, son intensité est limitée par la largeur du point d'impact, c'est-à-dire pour un point d'impact fin 10 milliampères et pour un point d'impact moyen 30 milliampères pour une radiographie d'une minute, et des régimes un peu plus intenses pendant des fractions de seconde. En radioscopie, il supportera 3 ou 5 milliampères d'une façon constante.

Dans ces limites, la vie du tube est pratiquement illimitée.

D. — Constance.

Alors que dans une ampoule à gaz raréfié le degré de vide variant sans cesse entraîne des variations d'intensité et partant de dureté du faisceau X émis, dans le Tube Coolidge au contraire, — utilisée bien entendu dans ses limites normales —, l'intensité X demeure constante tant que demeurent constantes les quantités électriques auxquelles le tube est soumis. Au delà de ces limites, Langmuir attribue,

d'après ses expériences, au dégagement de l'oxygène résiduel occlus dans les masses de cuivre et de tungstène, la diminution de l'émission d'électrons. C'est pour ces raisons que l'usage prolongé du Tube Radiateur exige un voltage correspondant à 11 centimètres d'étincelle équivalente, environ 55 Kvolts. Cela limite en thérapeutique l'action de ce tube à la radiothérapie superficielle, où il excelle du reste.

Mais son usage courant, et le meilleur, sera le radio-diagnostic, usage pour lequel il tiendra une place importante grâce à son pouvoir séparateur.

E. — Pouvoir séparateur.

Facteur de la finesse et de la fixité du foyer anticathodique en même temps que de l'étendue et de la valeur des foyers secondaires, du pouvoir séparateur dépend la finesse des images radiodiagnostiques.

Dans notre ampoule, la *largeur* du focus est de 3 mm. 2, mesurée à la chambre à trou d'épingle, sensiblement égal à celui des tubes Chabaud (2 mm.), Pilon OM (2,25 à 3 mm.). Par contre, au point de vue fixité du point d'impact, le Tube Radiateur est inimitable, or nous savons que tout déplacement du focus donne naissance à une image floue sur la plaque sensible. D'autre part, nous savons que par le principe et la construction, il n'existe point dans les tubes Coolidge de rayons secondaires dus aux parois du ballon. Mais par contre les rayons parasites issus de la zone de l'anticathode située en arrière de la zone focale sont plus développés que dans les ampoules communes à anticathode gainée.

Mais dans ce cas le Tube à Radiateur dont l'anticathode est en cuivre de faible poids atomique ($PA = 63$) donnera naissance à moins de rayons parasites que l'anticathode de tungstène ($PA = 184$) et molybdène ($PA = 93$) de la Standard. G. Richard a radiographié des grilles métalliques formées de fils de plomb de $10/10^6$ de millimètre de diamètre et 1, 2, 3... 9, 10 millimètres de côté, grilles placées à 5 centimètres de la plaque sensible; hauteur d'ampoule 50 centimètres, 1 milliampère, 12 centimètres d'étincelle équivalente.

L'aire discernable fut :

Tube	Temps de pose	Aire discernable
Chabaud	5"	2,4 m/m de côté
Pilon O. M	10"	5 —
Standard (focus fin) . .	6"	7 —
Radiateur (10 mA). . .	13"	5 —

IV. — RÉSULTATS ET UTILISATION PRATIQUES DES CARACTÉRISTIQUES

De l'étude des propriétés du Tube Coolidge à Radiateur, nous devons conclure, comme résultat pratique, qu'il y a :

1° Constance de l'intensité avec la température du filament ;

2° Constance du rayonnement avec la différence de potentiel aux bornes du tube. D'où :

3° Indépendances relatives du rayonnement et de l'intensité par rapport l'un à l'autre.

Dans un tube ordinaire nous savons que l'intensité est inversement proportionnelle au rayonnement c'est-à-dire qu'un tube ordinaire donnera *peu* de rayons *durs* ou *beaucoup* de rayons *mous* ; par conséquent le radiologue devra évoluer dans un cycle limité, cycle imposé par le tube lui-même qu'il emploie.

Dans le Tube Coolidge à Radiateur, nous savons que la pénétration du rayonnement, autrement dit que la *qualité* des rayons débités par le tube dépend uniquement de la différence de potentiel aux bornes du tube, c'est-à-dire aux bornes de sortie de la source de haute tension, différence de potentiel que l'on peut faire varier suivant les dispositifs employés par chaque constructeur à cet effet. Il suffira donc en

radioscopie de chercher, au moyen de la manette spéciale, la pénétration convenable avec la région à examiner, pénétration que l'on peut faire varier d'une seconde à l'autre au cours du même examen, suivant l'organe qu'on veut faire transparaître, en passant brusquement du « tube dur » au « tube mou ».

Nous savons également que dans le Tube Coolidge à Radiateur, l'intensité du rayonnement, autrement dit la *quantité* de rayons débités est facteur de la température du filament cathodique, température variant avec l'intensité — variable elle-même — du courant fourni par la source de basse tension ; il suffira donc au moyen d'une autre manette de chercher l'intensité strictement nécessaire pour un bon éclairage de l'écran radioscopique.

Mais il ne faut point croire qu'en augmentant l'intensité circulant dans le filament pour une différence de potentiel donnée, ou en faisant croître celle-ci pour une intensité constante, on puisse accroître indéfiniment le rendement, indéfiniment par rapport aux puissances limites du tube. Et quel que soit l'appareillage utilisé, la manœuvre de chacune de ces manettes — pénétration et intensité — correspond à des conséquences bien définies, ainsi que nous le prouvent les expériences de Shearer d'une part et celles de Boll et Mallet, d'autre part.

Dans le service du Dr Bécère au Val-de-Grâce, Boll et Mallet étudièrent les variations engendrées par le chauffage du filament, et présentèrent à l'Académie des Sciences en septembre 1946 les observations suivantes :

1° Prenons une différence de potentiel constante

aux bornes de l'ampoule (1), et faisons varier le chauffage du circuit filament. En mesurant par ionisation l'intensité du rayonnement X nous observerons tout d'abord que l'intensité du courant (milliampères) passant dans l'ampoule et l'intensité röntgénienne sont faibles ; puis au fur et à mesure qu'augmentera l'intensité — et par conséquent la chaleur — du filament, augmenteront l'intensité du circuit ampoule et l'intensité röntgénienne jusqu'au moment où cette dernière ayant atteint un maximum diminuera quoique augmente toujours l'intensité du circuit ampoule. Mais si on augmente la différence de potentiel l'intensité pourra s'accroître jusqu'à un nouveau maximum.

Par exemple pour 4 centimètres d'étincelle équivalente (environ 28000 volts), l'intensité du rayonnement X sera 50 fois plus petite pour 35 milliampères que pour 5 milliampères, le rayonnement maximum correspondant à 15 milliampères.

Mais si l'étincelle équivalente est portée à 6 centimètres (41000 volts), le maximum est atteint pour un courant de 25 milliampères environ. Et pour

1. Dans une étude postérieure (*J. de Radiologie et d'Electrologie*, mars-avril 1919), J.-S. Shearer fait remarquer qu'il aurait fallu dire : *opéré avec une position déterminée du rhéostat* et non avec un *voltage constant*, puisque dans le cas rhéostat la différence de potentiel décroît en raison inverse de l'intensité du filament, par suite de l'énergie absorbée par le rhéostat. Cet auteur démontre en outre qu'en employant un *auto-transformateur de réglage* (voir page 49) des quantités égales de radiations peuvent être obtenues pour des réglages différents, mais que le rayonnement le plus pénétrant sera obtenu, — pour une même valeur de radiation — avec la différence de potentiel la plus élevée dans la formule de la quantité de radiation

$$Q = I V^2$$

(I intensité et V différence de potentiel.)

9 centimètres (57000 volts), à 40 milliampères. Or nous savons que :

$$\text{Energie X} = K E^3 I$$

(I, intensité; E différence de potentiel et K une constante variable avec chaque tube.)

Si l'un des facteurs E ou I s'annule, l'énergie X s'annule; les variations de I et de E se feront en sens inverse, mais entre les valeurs extrêmes, où $X = 0$, il existera un maximum correspondant au maximum de radiation, maximum se produisant lorsque la tension aux bornes du tube est égale aux $2/3$ de la tension à circuit ouvert.

2° Soit au contraire une température constante du filament, et faisons varier la tension aux bornes de l'ampoule. L'intensité X du rayonnement d'abord faible va croître rapidement, puis plus lentement et atteindre un plateau, un maximum, qu'elle ne peut dépasser malgré l'augmentation de la tension; nous avons atteint la saturation correspondant à l'utilisation totale de tous les électrons émis. En augmentant la température du filament, nous augmenterons la valeur du courant et du voltage nécessaires pour atteindre cette saturation. La relation unissant dans ce cas l'intensité au voltage a été établie par Langmuir

$$i = K \times 10^{-5} \frac{l}{d} V^{-\frac{3}{2}}$$

dans laquelle :

l = longueur du filament

d = diamètre du filament

K = constante = 2,5.

i = intensité en ampères.

V = tension en volts.

Les valeurs trouvées par Boll et Mallet pour un certain tube et au moyen d'un radiochronomètre déterminé, sont reproduites dans le tableau suivant :

U en KV aux bornes de l'ampoule	Etincelle équivalenté en centimètres	Intensité dans l'ampoule en milliampères	Puissance rayonnée	Pénétration en degrés Benoist	Rendement en unité V par hectowatt heure dépendé dans l'ampoule
28	4	1	0,12	3° B	26
		2	0,22		23
		5	0,50		22
		10	0,78	2°5	17
		15	0,86		12
		20	0,66	2°	7,2
		30	0,08		0,6
		35	0,01	1°5	0,1
41	6	1	0,16	5°	23
		2	0,30		22
		5	0,70		20
		10	1,2	4°5	17
		20	1,7	4°	13
		30	1,6	3°	7,8
		40	0,54	2°	2
57	9	1	0,22	6°5	23
		2	0,40	6°	21
		5	0,96		20
		10	1,7		18
		20	2,5	5°5	13
		30	2,9	5°	10
		40	3,1	4°	8,4

Pour l'emploi du Tube Coolidge Radiateur, on aura donc intérêt à étalonner pour ainsi dire chaque tube, sachant par la suite qu'à chaque position des deux commutateurs correspond un certain rendement en énergie X, et que repérées ces positions nous permettront toujours de retrouver la même intensité X avec le même tube. En ne tenant point compte bien entendu des chutes de tension pouvant se produire sur la ligne alimentant le primaire des transforma-

teurs, ou les résistances accessoires dues aux mauvaises connexions du circuit filament.

En radiographie, le Tube Coolidge à Radiateur présente de gros avantages sur les tubes ordinaires, car, ainsi que nous l'avons vu, il sera toujours facile de se replacer dans des conditions identiques de pénétration et d'intensité (fig. 3).

Il suffit donc de connaître les différentes constantes — épaisseur, pénétration, intensité, temps, — correspondant aux différentes régions à radiographier pour obtenir de bonnes radiographies. De même qu'en faisant varier la pénétration on pourra faire ressortir tel ou tel détail aux dépens de l'ensemble.

En radioscopie, les mêmes avantages se présentent qu'en radiographie, encore plus appréciables, puisque grâce à ses réglages particuliers, il nous est possible de passer instantanément des rayons durs aux rayons mous, variant ainsi les oppositions entre les divers plans, et ce, avec le minimum de rayonnement nécessaire pour l'examen, diminuant ainsi les dangers dûs au rayonnement X lui-même.



FIG. 3/A. — 25.000 Volts, 4 mA.



FIG. 3/B. — 35.000 Volts, 4 mA.



FIG. 3/C. — 45.000 Volts, 4 mA.



FIG. 3/D. — 55.000 Volts, 4 mA.

Radiographies d'un genou prises successivement avec le même Tube Coolidge en faisant varier le degré de pénétration (d'après H. PILON).

DEUXIÈME PARTIE

MODES D'UTILISATION DU TUBE COOLIDGE

A RADIATEUR

LES « MEUBLES COOLIDGE »

I. *Les transformateurs.* — II. *La source électronique et le chauffage du filament. Les conducteurs.* — III. *La source de haute tension et les « Meubles Coolidge » proprement dits.*

MODES D'UTILISATION DU TUBE COOLIDGE A RADIATEUR

Par la précédente étude des propriétés physiques et du fonctionnement du Tube Coolidge à Radiateur, nous avons appris que ce fonctionnement exige deux conditions :

1° Source de haute tension aux extrémités du tube ;

2° Source de basse tension au filament cathodique.

La cathode incandescente, et seulement incandescente, devenant source électronique, la logique nous demande d'étudier tout d'abord les moyens de réaliser cette incandescence, réservant pour la suite de

passer en revue les différentes sources de haute tension qui peuvent presque toutes être employées ici.

Tous les anciens appareillages excellent pour utiliser le Tube Coolidge à Radiateur, à condition de fonctionner dans les limites fixées, c'est-à-dire de ne point dépasser une différence de potentiel égale à 55000 volts (facile à obtenir en réglant le spintermètre pour une longueur de 12 cent. 5 d'étincelle équivalente) et une intensité dans l'ampoule de 30 milliampères. Mais demeure sous-entendue l'adjonction préalable d'une source à basse tension pour le chauffage du filament.

Actuellement les divers dispositifs sont avantageusement remplacés par des appareillages construits spécialement en vue de l'utilisation du Tube Coolidge à Radiateur en vue du radiodiagnostic, appareillages plus connus sous le nom de « Meubles Coolidge ».

Mais la base de ces appareillages étant l'emploi des générateurs ou transformateurs statiques, nous croyons utile de rappeler les principes guidant la construction de ces transformateurs, principes qui feront comprendre par la suite la nécessité de certains dispositifs particuliers à chaque constructeur.

I. — DES TRANSFORMATEURS

AU POINT DE VUE ÉLECTRO-TECHNIQUE

Tout appareil électrique est en réalité un transformateur, car il est destiné à transformer de l'énergie — chimique, calorifique ou mécanique — en énergie électrique ou vice versa, ou bien même à changer la forme de l'énergie électrique. Mais dans la nomenclature industrielle, on désigne spécialement sous le nom de *transformateurs* les appareils destinés à transformer un courant alternatif donné (périodique ou sinusoïdal mono ou polyphasé) d'une tension donnée en un autre courant alternatif de tension différente, mais de même période. On les désigne également sous le nom de *transformateurs statiques* — par opposition aux *commutatrices* — car basés uniquement sur des phénomènes de magnétisme et d'induction, aucune de leur pièce n'est en mouvement.

En effet, alors que dans les *alternateurs*, les phénomènes d'électro-magnétisme sont obtenus par un mouvement relatif du circuit inducteur et du circuit induit avec dépense d'énergie mécanique et production d'énergie électrique, dans les *transformateurs statiques*, il suffit, — le circuit inducteur et le circuit induit restant fixes, — de faire varier la différence de potentiel aux bornes du circuit inducteur pour recueillir aux bornes du circuit induit un courant de

même forme. L'énergie électrique fournie au circuit inducteur ou *primaire*, d'intensité efficace I_1 , sous une tension périodique efficace de V_1 se transformera en énergie électrique au circuit induit ou *secondaire* d'intensité efficace I_2 sous une tension efficace de V_2 , de telle manière que — en négligeant les pertes — la puissance fournie $V_1 I_1$ soit égale à la puissance recueillie $V_2 I_2$. Nous voyons dans cette égalité $V_1 I_1 = V_2 I_2$ que pour une valeur de $V_1 I_1$ nous pourrions faire varier les deux facteurs V et I_2 en sens inverse, c'est-à-dire que pour une même puissance fournie, nous pourrions recueillir soit du courant à faible voltage et puissante intensité, soit au contraire du courant à haut voltage et faible intensité, courants que nous rencontrerons ensemble dans le Meuble Coolidge, le premier échauffant le filament cathodique, le second alimentant le tube.

La présence d'une source inductrice primaire variable entraînant des variations de flux magnétique, il sera nécessaire de rendre ces variations de flux aussi grandes que possible, par la présence d'un noyau de fer doux, et pour dépenser la plus faible *excitation* possible, il y aura intérêt à employer un *circuit magnétique fermé*.

Notre transformateur statique se compose donc d'un *circuit magnétique fermé* de section sensiblement constante sur lequel seront enroulés un *circuit primaire* comprenant n_1 spires de fil de cuivre de résistance R_1 traversées par un courant i_1 et un *circuit secondaire* de n_2 spires de résistance R_2 traversées par un courant i_2 , le tout séparé par des *isolants*. Circulant en même temps dans les circuits primaire

et secondaire, les courants i_1 et i_2 engendreront deux forces magnéto-motrices dont la somme algébrique détermine un certain flux d'induction ; de ce flux la majeure partie traverse le fer tandis qu'une fraction plus ou moins grande se dérive dans le milieu ambiant diélectrique non magnétique. Il faut donc considérer un flux principal Φ passant dans le fer et commun aux deux enroulements, et un flux accessoire, *flux de dispersion* ou *flux de fuite*, propre à chaque enroulement Φ'_1 , Φ'_2 et qui se ferme en dehors du fer, flux minime en général, le fer étant de beaucoup le plus perméable pour les lignes d'induction.

Pour l'étude des différents facteurs, entrant en jeu dans le fonctionnement du transformateur statique, nous considérons comme source d'énergie le *courant alternatif sinusoïdal monophasé*, tel qu'on le rencontre dans la plupart des secteurs urbains, ou qu'il peut être facilement produit au moyen soit d'une commutatrice entraînée par du courant continu, soit d'un groupe électrogène, sans oublier toutefois que le courant polyphasé peut être, au moyen de transformateur, ramené au courant monophasé.

A. — Lois Générales.

Les lois fondamentales qui régissent les transformateurs sont les suivantes :

Pour une tension appliquée aux bornes primaires du transformateur *l'induction magnétique est à chaque instant proportionnelle à l'intensité du courant, quelle que soit la charge.*

La tension secondaire est à chaque instant proportionnelle à la tension primaire et par conséquent de même forme et de même fréquence.

Le rapport des tensions, à vide, c'est-à-dire $\frac{U_2}{U_1}$ ou rapport de transformation de l'appareil est constant et proportionnel au rapport $\frac{n_2}{n_1}$ des enroulements dans un transformateur idéal sans dispersion, il est vrai. Le transformateur est donc un appareil *auto-régulateur* à courant constant, sous une tension constante.

Le flux magnétique dans le noyau est produit par la résultante $n_1 I_1 + n_2 I_2$ des ampères-tours primaires et des ampères-tours secondaires.

Puisque, pour une tension primaire constante, l'amplitude du flux est constante, quelle que soit la charge, il en est de même du champ magnétisant et par suite (en négligeant les pertes) la valeur efficace $n_1 I_1 + n_2 I_2$ reste constante et égale à la valeur efficace des ampères-tours à vide $n_1 I_1^0$, I_1^0 étant le courant primaire à vide.

A pleine charge, dans les bons transformateurs, les ampères-tours magnétisants ayant conservé la même charge $n_1 I_1^0$ qu'à vide sont très petits par rapport aux ampères-tours primaires ou secondaires.

Il faut donc rendre I_1^0 (courant magnétisant) le plus petit possible par rapport à I_1 (courant à pleine charge). Tandis que I_1^0 dépend du nombre des spires primaires, mais nullement de leur section, I_1 au contraire augmente avec la section. Par conséquent en immobilisant beaucoup de cuivre — comme nous

le verrons plus tard — au moment de la construction, on arrive à rendre I_1^0 très minime, de l'ordre du centième pratiquement par rapport à I_1 .

B. — Rendement d'un transformateur.

Le rendement d'un transformateur doit être étudié, puisque ce rendement dirige la construction de l'appareil.

Soit P_u la puissance recueillie aux bornes du circuit secondaire. Elle est égale à la puissance fournie P_f diminuée de la puissance perdue ou *pertes*, p .

On a :

$$\eta = \frac{P_u}{P_f} = \frac{P_u}{P_u + p}$$

La *perte proportionnelle* $\frac{p}{P_u}$ est donnée par la relation.

$$\frac{p}{P_u} = \frac{1 - \eta}{\eta}$$

Mais il faut distinguer deux sortes de rendements : 1° le *rendement instantané* fourni pendant une charge donnée ; et 2° le *rendement journalier*, inférieur au précédent puisqu'il comprend en même temps les périodes, et leurs pertes, où l'appareil reste en circuit sans être chargé. Nous envisagerons seulement le rendement instantané, la seconde forme étant négligeable en radiologie où les appareils fonctionnent pendant relativement peu de temps.

Le rendement instantané est donné par la relation

$$\eta = \frac{P_u}{P_u + p_f + p_c}$$

P_u étant la puissance utile, p_f les pertes dans le fer et p_c les pertes dans le cuivre des enroulements.

Calculons ces pertes qui se décomposent pour le fer en deux termes :

1° *La perte par hystérésis dans le fer* (1). Si B est l'induction maxima, en gauss, dans le fer, la première perte est proportionnelle à $B_m^{1,6}$

$$A = a B_m^{1,6}$$

2° *La perte par courants de Foucault* (2) dans le fer : Cette perte est proportionnelle au carré de l'induction. La chaleur Joule développée par ces courants étant proportionnelle au carré de l'intensité, proportionnelle elle-même à l'induction :

$$B = b B_m^2$$

1. On appelle *hystérésis l'induction résiduelle* conservée par un noyau magnétique après la rupture du courant inducteur. Cette hystérésis se développe suivant un cycle dont l'étude démontre qu'il entraîne dans le fer la dissipation d'une certaine quantité d'énergie sous forme de chaleur, énergie proportionnelle : 1° au volume du fer ; 2° à la surface du cycle d'hystérésis.

L'évaluation, pénible numériquement, de ce cycle a été remplacée par la loi de Steinmetz, loi empirique, mais de résultats suffisants dans la pratique.

Lorsqu'un cycle d'hystérésis est parcouru entre les limites $+B$ et $-B$ de l'induction magnétique, l'énergie dissipée sous forme de chaleur est représentée en watts par la formule

$$W = V \eta B^{1,6}$$

dans laquelle V est le volume du fer en décimètres cubes, η un coefficient variable d'un échantillon à l'autre (de 0,003 à 0,001) suivant la qualité de la tôle, et B l'induction maxima.

2. On désigne sous le nom de *courants de Foucault* des courants d'induction fermés sur eux-mêmes prenant naissance dans la masse même d'un conducteur lorsque ce conducteur est soumis à des variations de flux. De forme compliquée, les courants de Foucault sont régis — approximativement — par la loi de Lenz qui permet d'envisager

3° La troisième perte par effet Joule (1) dans les enroulements primaire et secondaire est égale à la somme algébrique de ces deux pertes.

a) Pour l'enroulement secondaire, la perte Joule est proportionnelle au carré de l'intensité circulant dans l'enroulement ; mais comme la puissance recueillie est elle-même proportionnelle à cette intensité, l'effet Joule dans le secondaire est donc proportionnel au carré de la puissance utile recueillie

$$C_2 = c_2 P_u^2$$

b) Expérimentalement le courant primaire est à peu près proportionnel au courant secondaire et par conséquent à la charge. La perte Joule devient donc proportionnelle au carré de la charge

$$C_1 = c_1 P_u^2$$

Si

$$C = C_1 + C_2$$

et

$$c = c_1 + c_2$$

on a

$$C = c_1 P_u^2 + c_2 P_u^2 = (c_1 + c_2) P_u^2 = c P_u^2$$

La perte totale p_t devient

$$p_t = a B_m^{1,5} + b B_m^2 + c P_u^2$$

de sorte que la puissance totale $P_u + p$ est

$$P_f = P_u + a B_m^{1,5} + b B_m^2 + c P_u^2$$

sager leur action retardatrice se transformant en chaleur. Proportionnels à l'épaisseur de la tôle, ces courants dépendent encore de sa qualité.

1. L'effet Joule représente la chaleur développée par I traversant un circuit résistant R pendant un temps donné t : elle est proportionnelle au carré de l'intensité, à la résistance et au temps

$$J = R I^2 t$$

et le rendement

$$\eta = \frac{P_u}{P_u + a B_m^{1.6} + b B_m^2 + c P_u^2}$$

Or nous savons que l'induction maxima reste sensiblement constante à toutes les charges ; donc les pertes par hystérésis et courants de Foucault dans le fer sont constantes et indépendantes des charges.

En les remplaçant par F dans la formule précédente, il vient

$$\eta = \frac{P_u}{P_u + F + c P_u^2}$$

formule qui peut aussi s'écrire

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{F}{P_u} + c P_u}$$

A faible charge le terme $\frac{F}{P_u}$ étant très grand, le rendement sera très petit ; puis ce rendement augmentera lorsque la charge augmentera, passera par un maximum pour une certaine valeur de la puissance et diminuera (parabole du 2^e degré). Pour que le rendement passe par un maximum, il faut que le dénominateur passe par un minimum, et — le produit des deux termes $\frac{F}{P_u}$ et $c P_u$ étant constant —, ce maximum est obtenu quand $\frac{F}{P_u} = c P_u$ ou $F = c P_u^2$; autrement dit :

Pour que le rendement soit maximum il faut et il suffit que les pertes dans le cuivre et dans le fer soient égales.

Numériquement, en admettant que, à *pleine charge* la puissance perdue dans le fer F représente une fraction α de la puissance maxima utile P et que celle perdue dans le cuivre c (des enroulement primaire et secondaire) représente une fraction β de cette même puissance.

On a

$$F = \alpha P_m$$

$$c P_m^2 = \beta P_m \text{ d'où } c = \frac{\beta}{P_m}$$

Il vient

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\alpha P_m}{P} + \frac{\beta P}{P_m}}$$

La condition de rendement maximum est

$$\frac{\alpha P_m}{P_u} = \frac{\beta P_u}{P_m}$$

ou

$$\alpha P_m^2 = \beta P_u^2$$

d'où on tire

$$P_u = P_m \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}}$$

Or P_u , puissance utile, est nécessairement plus petite que P_m , puissance maxima, ou au plus égale.

Il faut donc que

$$\alpha \leq \beta$$

1° Si :

$$\alpha < \beta$$

c'est-à-dire, si les pertes dans le fer sont plus grandes que les pertes dans le cuivre le rendement passe par un maximum pour une puissance

$$P_u = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} P_m$$

et la valeur de ce rendement est

$$\eta = \frac{1}{1 + 2\sqrt{\alpha\beta}}$$

2° Si :

$$\alpha = \beta$$

c'est-à-dire si les pertes dans le fer égalent les pertes dans le cuivre, le rendement est maximum à pleine charge, et a pour valeur

$$\eta = \frac{1}{1 + 2\alpha}$$

Pratiquement si le transformateur doit toujours fonctionner à pleine charge, il faudra choisir son rendement maximum pour cette charge et que les coefficients α et β des deux pertes soient égaux.

Si au contraire le transformateur doit travailler normalement au-dessous de sa charge maxima et fournir une puissance P_u inférieure à P_m , il faudra prendre son rendement maximum pour cette puissance, et que α soit plus petit que β , c'est-à-dire que pour la puissance maxima les pertes dans le fer soient plus petites que les pertes dans le cuivre afin qu'à la puissance d'utilisation ces pertes deviennent équivalentes.

C. — Choix des Enroulements.

La quantité de cuivre à employer pour la construction des enroulements d'un transformateur est fonction du noyau magnétique dont il doit égaler les pertes. Mais, d'autre part, la répartition de cette quantité de cuivre entre les enroulements est régie par les règles suivantes :

1° Pour que la perte totale par effet Joule soit minima, il faut que le poids donné de cuivre se répartisse également entre le primaire et le secondaire.

2° Pour que la perte totale par effet Joule soit minima, pour un poids de cuivre donné, il faut qu'elle se partage également entre les deux enroulements.

3° Pour que la perte totale par effet Joule soit minima, pour un poids de cuivre donné, il faut que la densité du courant soit la même dans le primaire et dans le secondaire.

L'étude pratique nous amènerait à conclure que pour un poids total de cuivre donné, les pertes par effet Joule varient en fonction de la puissance 2 de la longueur de l'enroulement primaire, tandis que les pertes par hystérésis varient en fonction inverse de la puissance 1,6 et les pertes par courants de Foucault en fonction inverse de la puissance 2 de cette même longueur.

On voit donc que les pertes dans le cuivre variant en sens inverse des pertes dans le fer, il sera toujours possible de trouver une valeur pour L_1 (1) qui satisfasse à l'équivalence de ces pertes.

Par conséquent, étant donné le noyau de fer d'un transformateur et le poids de cuivre à immobiliser, le rendement dépendra de la longueur et partant de la section de l'enroulement primaire.

D. — Choix des dimensions du noyau magnétique.

L'induction admissible dans le noyau est choisie aussi grande que le permettent la limite de satura-

1. L_1 étant la longueur de l'enroulement primaire.

tion et le refroidissement, de manière à avoir la section la plus faible possible et la longueur minima d'enroulement.

Le volume du fer est donné par la relation

$$V = L. b. S.$$

(b étant un coefficient tenant compte de l'épaisseur de l'isolant entre tôles.) Les pertes dans le fer par unité de volume par la relation

$$p = \alpha B^{1.6} + j. B_2$$

(α et j étant des constantes pour une tôle d'épaisseur et de qualité données et B représentant l'induction) soit :

$$P = \alpha L. \frac{\Phi_o^{1.6}}{b^{0.6} S^{0.6}} + j L \frac{\Phi_o^2}{b. S}$$

Pour une longueur L constante on a avantage à augmenter la section S afin de diminuer les pertes.

E. — Auto-transformateurs.

On désigne sous le nom d'*auto-transformateurs* des appareils dans lesquels les enroulements sont disposés en série, c'est-à-dire dans lequel un seul et même enroulement sert à la fois pour le primaire et pour le secondaire.

Prenons par exemple un enroulement AB (fig. 5) dont les extrémités A et B sont reliées aux pôles de la source d'énergie U_1 , l'extrémité B étant d'autre part reliée à un pôle du circuit d'utilisation U_2 , tandis qu'un point C , intermédiaire à A et B , sera relié à l'autre pôle de ce dernier circuit.

Soit l_1 la longueur totale des spires de l'enroule-

ment comprises entre A et C, et l_2 la longueur des spires comprises entre C et B.

La longueur de l'enroulement sera $l_1 + l_2$; celle de l'enroulement secondaire sera l_2 .

Le rapport de transformation sera :

$$R = \frac{l_2}{l_1 + l_2}$$

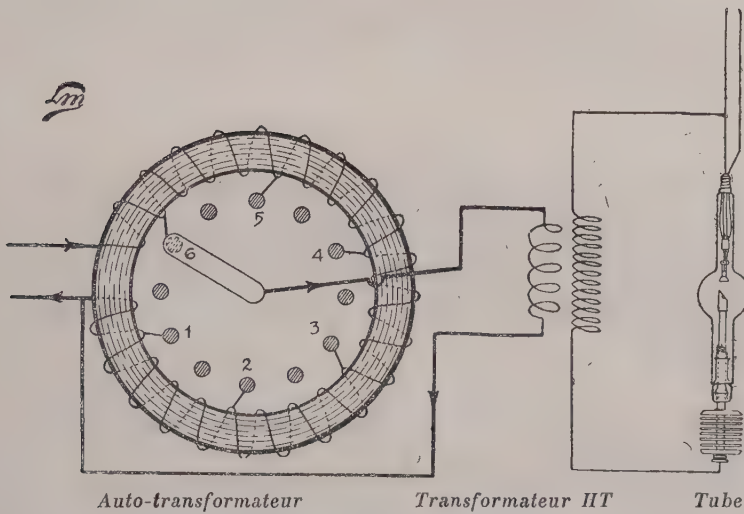


SCHÉMA DE MONTAGE AVEC AUTO-TRANSFORMATEUR

Le courant de la source d'énergie traverse toutes les spires ; le courant transformé se rendra au primaire du transformateur de haute tension par l'intermédiaire d'un des « plots » reliés à l'enroulement et du commutateur central mobile, ici plot 6.

On remarquera que les plots reliés à l'enroulement sont séparés les uns des autres par des plots neutres afin d'éviter les court-circuits.

(D'après Shearer, modifié).

FIG. 4.

On voit donc qu'avec un auto-transformateur sur lequel le point intermédiaire serait variable comme position, le rapport R varierait entre deux limites très grands, égales à U_1 si $l_2 = AB$ et nulle si $l_1 = AB$. On conçoit facilement qu'un tel auto-transformateur,

placé entre la source d'énergie devant alimenter le primaire d'un transformateur et ce même primaire, pourra faire varier entre des limites assez larges la tension appliquée aux bornes de ce primaire et par conséquent la tension recueillie aux bornes du secondaire. Soit par exemple certain transformateur donnant 80000 volts aux bornes du secondaire pour une tension primaire de 110 volts, en négligeant les pertes, le rapport de transformation est :

$$\frac{U_2}{U_1} = K = 727,2$$

Nous voulons faire varier jusqu'à 40000 volts la tension au secondaire. Le rapport entre les spires du primaire et du secondaire demeurant le même (1), il nous faudra recourir à l'emploi d'un auto-transformateur pour ramener à $\frac{40000}{K} = 55$ volts la tension aux bornes du primaire du transformateur à haute tension. Le rapport $\frac{l}{l_1 + l}$ de l'auto-transformateur devient pour cette valeur $K = 0,5$ et nous pourrons obtenir plusieurs valeurs intermédiaires contenues dans le tableau suivant :

1. Une action identique peut être obtenue, au contraire, en ménageant au moment de la construction, plusieurs *sorties* sectionnant la longueur de l'enroulement primaire de telle sorte qu'on puisse faire passer le courant primaire dans un nombre de spires plus ou moins grand, le rapport de transformation variant en fonction de U dans la

formule $\frac{U_2}{U_1} = M.$

U_2 (volts)	K $\left(\frac{U_2}{U_1}\right)$	U'_1 (volts)	R $\left(\frac{U'_1}{U_1}\right)$	U_1 (volts)
80000	727,2	110	1	110
70000	»	96	0,92	»
60000	»	82	0,74	»
50000	»	68	0,61	»
40000	»	55	0,5	»
<i>Transformateur haute tension.</i>		<i>Auto-transformateur.</i>		

F. — Construction d'un transformateur.

Nous avons vu que le transformateur statique se compose donc d'un circuit magnétique et d'enroulements, le tout séparé par des isolants ou diélectriques.

Nous considérerons tour à tour ces diverses parties.

a) *Le circuit magnétique.* — Actuellement tous les transformateurs statiques sont à circuit magnétique fermé. Constitués au début par un faisceau de fils de fer minces, les noyaux sont actuellement formés de tôles minces, tôles de fer ou d'acier doux recuit ou d'acier au silicium, d'épaisseurs variant de 3 à 6/10^e de millimètre, séparées par des couches de papier ou de vernis isolants d'environ 5 à 7/100^e de millimètre, de telle sorte que le rapport du volume du fer au volume du noyau est d'autant plus faible que la tôle est plus mince et l'isolant plus épais ; il varie généralement entre 0,81 et 0,92.

Dans les transformateurs monophasés, ou à cou-

rant alternatif monophasé, on peut distinguer ceux à *noyaux* ou *circuit magnétique simple*, de forme le plus souvent rectangulaire, et ceux à *circuit magnétique double*, ou *transformateurs cuirassés*.

Les tôles, rassemblées en paquets suivant les côtés du rectangle sont raccordées par des *joints*, *droits* ou *obliques*. Ces joints mal faits peuvent donner lieu à une production supplémentaire de courants de Foucault, d'où la nécessité de surfaces bien dressées et bien ajustées. Les joints droits peuvent être assemblés *continus* ou *enchevêtrés* mais en tout cas alternés.

b) *Enroulements*. — Il ne faut point qu'il puisse se produire de décharges disruptives entre conducteurs à des tensions différentes, ou entre conducteurs et la masse, d'où nécessité d'isolants entre le primaire et le noyau, entre le primaire et le secondaire.

Les enroulements peuvent être soit en *bobines*, soit en *galettes*, *concentriques* ou quelquefois *alternées*. On place d'habitude l'enroulement de haute tension à l'extérieur, de manière à n'assurer son isolement que d'un seul côté et que le refroidissement se fasse mieux. Le plus souvent l'enroulement à basse tension, à fil de grande section, est enroulé sur un manchon de carton spécial comprimé. L'enroulement de haute tension à fil fin isolé à la soie, est formé de *bobines élémentaires*, et on doit avoir au maximum 1000 volts de différence entre deux spires d'une même bobine (1) afin d'éviter les éclatements d'étin-

1. Si U est la tension efficace aux bornes et n le nombre total de spires, la tension entre deux spires adjacentes est $u = \frac{U}{n}$; si n' est le nombre de spires d'une bobine élémentaire, on doit avoir $n'u < 1000$.

celles et la détérioration de l'enroulement. Ces bobines élémentaires sont séparées par des rondelles isolantes ou des tasseaux, et les couches ou rangées de fils doivent être séparées par un papier isolant paraffiné ou non.

On a recours également aux enroulements en *gallettes* dans lesquels les fils sont enroulés en spirales concentriques sur des disques de papier percés au centre pour le passage de la bobine de basse tension, chaque spire étant réunie à la suivante soit directement soit par des soudures.

c) *Isolants*. — Les isolants ou diélectriques employés sont nombreux, depuis l'air jusqu'aux liquides en passant par les solides. Les plus usuels sont : la *paraffine* de résistivité $\rho = 34000 \cdot 10^9$ mégohms-centimètres mais à point de fusion assez bas, 44° , et inflammable ; la *résine* employée le plus souvent en mélanges soit avec la précédente soit avec de l'huile, ou les deux ; la *gomme laque* réservée surtout aux enroulements ; la *cellulose*, et ses dérivés, *papier*, *carton*, *tissus* que l'on emploiera paraffinés à chaud ou imprégnés de solutions résineuse ou bitumineuse dans l'huile de lin ou minérale. Le papier isolera les couches de fil ou les tôles du noyau ; le carton isolera les enroulements les uns des autres et du noyau, le coton et la soie isoleront les fils ; l'*ébonite* et son homologue la *fibres*, dérivées l'une du caoutchouc, l'autre du bois, rigides, employées en tubes ou en rondelles ; de même que la *micanite* dérivée du mica, la *porcelaine* et le *verre*. Enfin l'*huile* et le *pétrole*, le second moins employé par suite de son inflammabilité. L'huile réservée à l'isolement du

transformateur tout entier présente un excellent isolement en même temps qu'elle assure un refroidissement par circulation ; elle empêche l'action de l'air sur les matières isolantes, et dans le cas où une étincelle se produirait, elle empêche la formation de l'arc et rétablit l'isolation. Mais elle doit être purgée d'eau et être bien fluide. On l'emploie pure, ou comme dissolvant à chaud de la résine et de la paraffine.

Les tensions disruptives pratiques pour quelques-uns de ces isolants sont, pour 1000 volts : air 2 millimètres, micanite 0 mm. 5, huile 0 mm. 02.

d) *Montage*. — Le circuit magnétique composé de deux branches ou noyaux et de deux culasses, est monté sauf la culasse supérieure ; la bobine de basse tension, roulée sur un cylindre isolant est enfilée sur le noyau ; suivant les cas, elle comprendra plusieurs *sorties* soudées à différents points de l'enroulement de manière à varier l'induction dans les transformateurs à haute tension ; puis sur elle est enfilé un nouveau cylindre isolant sur lequel seront montées les différentes bobines ou galettes, suivant les cas, de l'enroulement à haute tension. La culasse supérieure du circuit magnétique est fixée, « sandwichée », à son tour. Les fils d'arrivée et de départ sont disposés dans leurs gaines isolantes et reliés à leurs bornes respectives ; et l'ensemble est noyé dans un diélectrique variable avec le constructeur.

Par contre les auto-transformateurs, composés la plupart du temps d'une seule bobine à sorties multiples, sont le plus souvent abandonnés à l'air libre.

Quelque longue et aride que semble cette étude, elle nous a paru nécessaire afin de faire mieux comprendre par la suite l'utilité du transformateur — qu'il soit de haute ou de basse tension, ou bien auto-transformateur —, les raisons de son montage et de son isolement, la nécessité des appareils de réglage.

Faite une fois pour toutes, l'étude électro-technique ne demandera point à être répétée pour chaque appareil. De ceux-ci, nous ne décrirons que les caractéristiques visibles ou connues, mais passant sous silence certains secrets de fabrication que les ingénieurs ont bien voulu nous confier en vue de notre éducation personnelle.

II. — LA SOURCE ÉLECTRONIQUE ET LE CHAUFFAGE DU FILAMENT

Dans le Tube Coolidge à Radiateur, la source électronique est représentée par la cathode incandescente, et seulement lorsque cette cathode, ou plutôt le filament cathodique est incandescent. Cette incandescence est obtenue par effet Joule au moyen du passage au travers du filament cathodique d'un courant électrique approprié, d'une cinquantaine de watts en moyenne, courant produit par une source à basse tension, 10 volts environ, mais d'une certaine intensité.

Alors qu'à première vue ces conditions semblent facilement réalisables, il n'en est pas de même en pratique ; en effet il ne faut point oublier que ce filament est au potentiel cathodique, potentiel très élevé puisqu'il avoisine 50000 volts ; que par conséquent les conducteurs, qui doivent y être reliés, et la source du courant elle-même seront élevés à ce haut potentiel. D'où la nécessité d'un isolement aussi parfait que possible concernant la source et les conducteurs.

Dès le début de l'emploi du Tube Coolidge, différentes sources d'énergie furent utilisées, sources que nous allons passer en revue.

A. — Génératrice ou commutatrice.

Certains employèrent ce procédé, transformant le courant originel en courant à basse tension. Cette solution fut rapidement abandonnée par suite de la difficulté de réalisation d'un isolement parfait.

B. — Accumulateurs.

Une autre source d'énergie employée fut la batterie d'accumulateurs.

Nous ne saurions mieux faire que de décrire la batterie construite par les ÉTABLISSEMENTS PILON à cet usage : cinq éléments sont contenus dans une solide caisse montée sur de hauts pieds assurant un isolement parfait de la batterie. Un voltmètre et un ampèremètre placés sur le côté, permettent le contrôle de la décharge. A l'intérieur de la boîte se trouvent le rhéostat de réglage et l'interrupteur du courant, rhéostat et interrupteur commandés à distance au moyen d'une tige isolante l'un par un mouvement rotatif, le second par des tractions successives. Sur le dessus de la boîte la prise de courant des conducteurs d'utilisation.

Mais cette solution du chauffage tend de plus en plus à être abandonnée, car à l'inconvénient de la commande à distance, si peu pratique, s'ajoute celui de la décharge relativement rapide des éléments, par suite du grand débit qu'ils doivent fournir (1).

1. C'est là néanmoins le procédé de choix pour les laboratoires d'étude (H. Pilon).

C. — Transformateurs.

Le procédé qui tend de plus en plus à remplacer les autres est l'emploi de transformateurs statiques *sous-voltant* le courant alternatif, — secteur ou commutatrice, — alimentant le primaire du transformateur à haute tension.

Les constructeurs ont employé diverses solutions : transformateur isolé, ou placé dans le même bac que celui à haute tension, ou enroulements communs avec ce dernier.

1° *Transformateurs isolés.*

Ces transformateurs rappelleront le transformateur type que nous avons étudié précédemment.

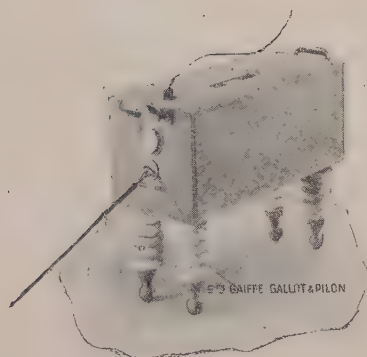
Les seules caractéristiques, — enroulements, noyau, isolant, appareils de réglage et de mesure, — varieront avec chaque constructeur, d'où la nécessité de les décrire séparément.

Le choix de ces appareils s'impose lorsqu'il s'agit de monter un Tube Coolidge sur une installation ordinaire pour tubes à gaz raréfiés.

ÉTABLISSEMENTS GAIFFE-GALLOT ET PILON. — Un seul modèle.

Transformateur du type cuirassé noyé dans un isolant pâteux spécial ; il est contenu dans une cuve de tôle recouverte d'un épais carton isolant.

A une extrémité du couvercle, les bornes du primaire au nombre de trois (110 volts et 78 volts), tandis qu'à la partie centrale se dresse un long tube



BATTERIE D'ACCUMULATEURS
pour le chauffage du filament
(Etablissements *GAIFFE-GALLOT et PILON*).

FIG. 5.



TRANSFORMATEUR
pour le chauffage du filament
(Etablissements *GAIFFE-GALLOT et PILON*).

FIG. 6.

d'ébonite portant au sommet les bornes du secondaire.

Comme appareil de réglage, un rhéostat placé sur le primaire servira à faire varier l'intensité dans le primaire et par induction dans le secondaire, intensité primaire mesurée au moyen d'un milliampère-mètre placé dans le circuit.

Encombrement : $18 \times 23 \times 23$ centimètres.

Ce transformateur se retrouve dans le Meuble Coolidge à pénétration variable.

MAISON MASSIOT. — Un seul modèle, à deux bobines indépendantes isolées à la paraffine et au carton paraffiné.

Ce transformateur est contenu dans une caisse de bois.

L'intensité du courant primaire est variable au moyen d'un rhéostat placé dans le circuit. L'intensité du courant secondaire est mesurée directement au moyen d'un ampèremètre monté au centre de l'enroulement correspondant ; ce dispositif permet la mesure exacte de l'intensité qui traverse le filament.

SOCIÉTÉ ÉLECTRO-RADIOLOGIQUE (G. CASEL). — Transformateur statique noyé dans un isolant à consistance molle prévu pour 100000 volts, et contenu dans une caisse de bois à couvercle d'ébonite. Bornes du primaire sur le devant. Bornes du secondaire montées sur une colonne d'ébonite portant en même temps un ampèremètre mesurant l'intensité secondaire, avec prises de courant par raccord mâle du type commercial « à fiches ».

*2° Transformateurs autonomes, mais contenus
dans le même bac que le transformateur
à haute tension.*

Dans ce cas les sorties des secondaires seront communes au fil négatif à haute tension et aux fils à basse tension.

ÉTABLISSEMENTS GALLOT ET PILON. — Même type de transformateur que précédemment. Il est placé à la partie inférieure et à une extrémité du bac, près de la sortie négative du secondaire (1). On rencontre ce modèle dans le châssis Belot-Faraday que nous étudierons plus loin.

MAISON DRAULT ET RAULOT-LAPOINTE. — Le transformateur, du type industriel, est contenu dans le même bac que le transformateur de haute tension. Mesure directe de l'intensité au moyen d'un ampèremètre monté au centre du secondaire.

Réglage de l'intensité par noyau de self mobile (2).

Sur le nouveau meuble à contact tournant, le filament est alimenté par une antenne transformatrice, avec réglage par self.

1. Fil et sortie négatifs par rapport au tube naturellement, autrement dit le fil rejoignant la cathode. Car le transformateur débitant du courant sinusoïdal, chacun des deux fils est alternativement positif et négatif.

2. Pour une intensité primitive constante et une force électromotrice constante dans un circuit de résistance invariable, l'intensité cherchée après application d'une self variable variera avec cette self.

On conçoit d'autre part qu'il est facile de faire varier l'induction et par conséquent la self en déplaçant un noyau magnétique dans son champ.

3° *Transformateur à basse tension solidaire
du transformateur à haute tension.*

Dans ce modèle, un certain nombre de spires du secondaire de haute tension sont en même temps communes à la basse tension. On comprend facilement que cette partie du transformateur, considérée comme autonome est *sous-volteur* ; mais il ne pourra agir qu'en tant qu'agira le courant à haute tension ; il lui faudra donc un temps de quelques secondes pour atteindre son régime de température après qu'on aura fermé le courant primaire.

Réglage par un noyau de self mobile de l'intensité dont on suivra les variations directement sur le milliampèremètre du tube monté au centre du transformateur. Ce modèle est réservé au meuble transportable à pénétration invariable de GALLOT ET PILON.

D. — **Conducteurs et montages.**

Les conducteurs venus du transformateur du filament doivent remplir une première condition avant toute autre : assurer une bonne conductibilité ; puis, être d'une grande souplesse et bien isolés, qu'ils soient reliés directement au capuchon cathodique ou par l'intermédiaire d'un trolley dans le cas de plusieurs tubes à alimenter consécutivement (châssis, table et pied porte-ampoules par exemple). Dans ce dernier cas un montage spécial s'impose ; doubler le trolley négatif d'un second fil remplissant les mêmes qualités d'extension et d'isolement ; ces deux

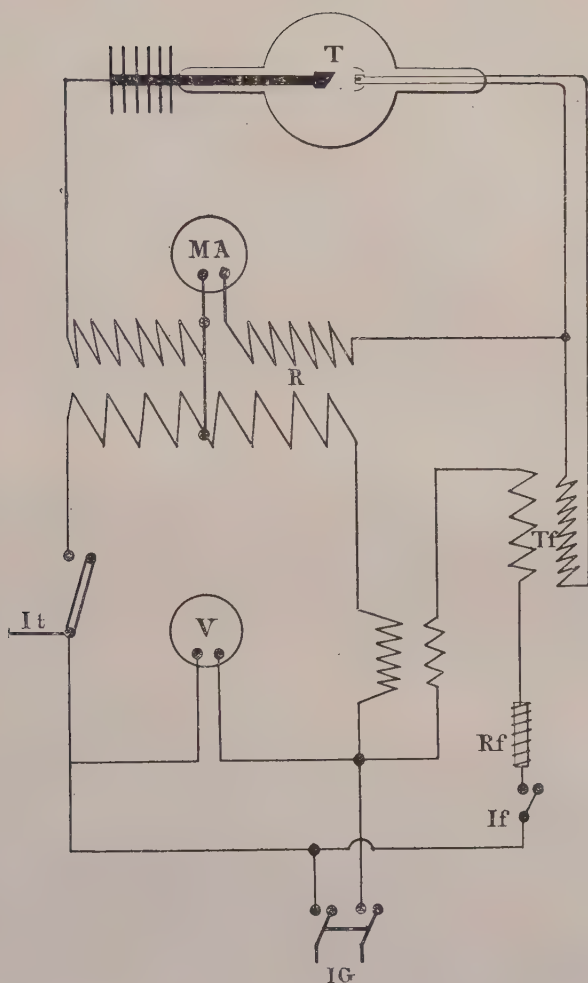


SCHÉMA DE MONTAGE DIRECT D'UN TUBE COOLIDGE
A RADIATEUR (H. Pilon).

IG interrupteur général ;
If interrupteur du filament ;
Rf réglage du filament ;
Tf transformateur du filament ;
IT interrupteur du circuit du Tube ;
R transformateur de haute tension ;
V Voltmètre-Kilovoltmètre ;
MA Milliampèremètre ;
T Tube Coolidge à Radiateur.

fil seront reliés directement soit aux bornes secondaires du transformateur du filament, soit aux bornes d'un commutateur à plusieurs directions, si le laboratoire en fait usage.

Toujours dans ce dernier cas il est bien entendu que le commutateur devra présenter un troisième contact spécial pour un des fils cathodiques, l'autre fil cathodique empruntant le trolley négatif habituel, de même que ces contacts plus précis devront avoir leur surface augmentée. De même encore, les dispositifs destinés à prendre le courant sur les trolleys négatifs devront présenter une précision et une surface de contact aussi grandes que possible de manière à éviter les pertes (1).

Les connexions au capuchon cathodique de l'ampoule seront réalisées, par l'intermédiaire d'une douille Edison à vis, au moyen d'un fil de cuivre présentant grande conductibilité, grande souplesse et grand isolement pour répondre à ces trois facteurs : grande mobilité, intensité moyenne, haut potentiel. Certains fils souples à plusieurs conducteurs isolés à la gomme seront donc suffisants, mais *nécessaires*. Les raccords intermédiaires seront du type commercial « à fiches », les raccords femelles étant montés vers le transformateur. En réalité tout montage offrant bons isolement, souplesse et conductibilité sera excellent, mais en se rappelant toutefois que les connexions devront être attentivement sur-

1. LES ÉTABLISSEMENTS GALLOT ET PILON d'une part, et d'autre part, MM. DRAULT ET RAULOT-LAPOINTE ont ingénieusement réalisé un commutateur à 3 fils, et un chariot prise de courant sur le double trolley négatif.

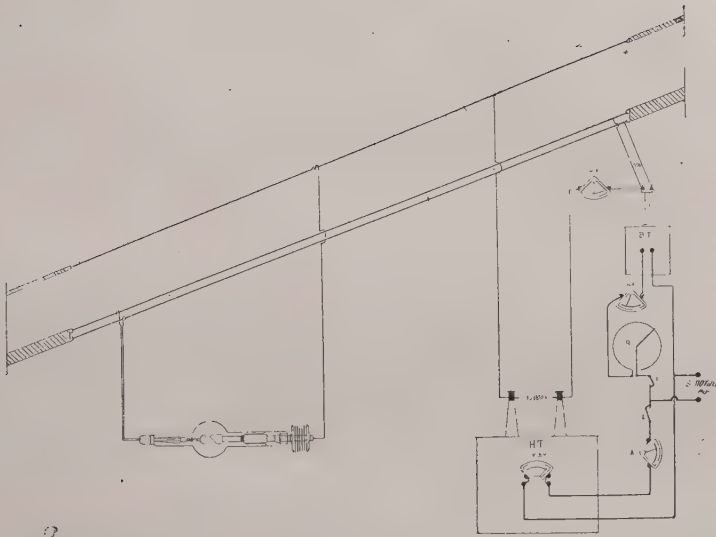


SCHÉMA DE MONTAGE D'UN TUBE COOLIDGE A RADIATEURS
PAR L'INTERMÉDIAIRE DE TROLLEYS

- S Source d'énergie (110 volts, alternatif).
I' Interrupteur du circuit du filament.
R Rhéostat du circuit du filament.
mA' Milliampèremètre du circuit du filament.
HT Transformateur de basse tension (10 volts).
I Interrupteur du circuit du Tube.
A Ampèremètre du primaire.
HT Transformateur de haute tension (55.000 volts).
V-KV Voltmètre-Kilovoltmètre.
mA Milliampèremètre du circuit du tube.
— Double Trolley négatif.
+ Trolley positif.

FIG. 8.

veillées, nous souvenant que, vu l'intensité relativement grande par rapport au voltage, tout mauvais contact déterminant une résistance accessoire entraînera une forte réduction d'énergie, diminuant ainsi le rendement du tube (1).

1. En effet pour une tension de 10 volts et une intensité moyenne de 5 ampères, la résistance du circuit du filament correspond, d'après la loi d'Ohm, à

$$R = \frac{E}{I} = \frac{10}{5} = 2 \text{ ohms.}$$

Un mauvais contact augmentera facilement d'un ohm cette résistance, soit au total $R = 3$ ohms. L'intensité devient :

$$I = \frac{E}{R} = \frac{10}{3} = 3,33 \text{ ampères.}$$

donc une diminution d'intensité de 1,66 ampères, soit un tiers.

III. — LE CIRCUIT DE HAUTE TENSION ET LES « MEUBLES COOLIDGE » PROPREMENT DITS

Grâce à ses caractéristiques personnelles, le Tube Coolidge à Radiateur est apte à fonctionner sur toutes les installations radiologiques, à condition toutefois de ne point sortir des limites fixées par le constructeur : tension de 30000 à 60000 volts, intensité 5 ou 10 milliampères en service prolongé, 10 ou 30 milliampères pendant quelques secondes suivant le modèle employé.

Il faudra donc adjoindre aux installations existantes le transformateur nécessaire pour le chauffage du filament et les connexions utiles pour relier ce transformateur à la fois à la cathode du tube et au fil négatif de l'installation. Grâce à sa propriété d'être auto-sélecteur, il ne sera plus besoin de soupapes dans le circuit avec les meubles crédences, si répandus actuellement, ou avec les meubles d'Arsonval-Gaiffe (1).

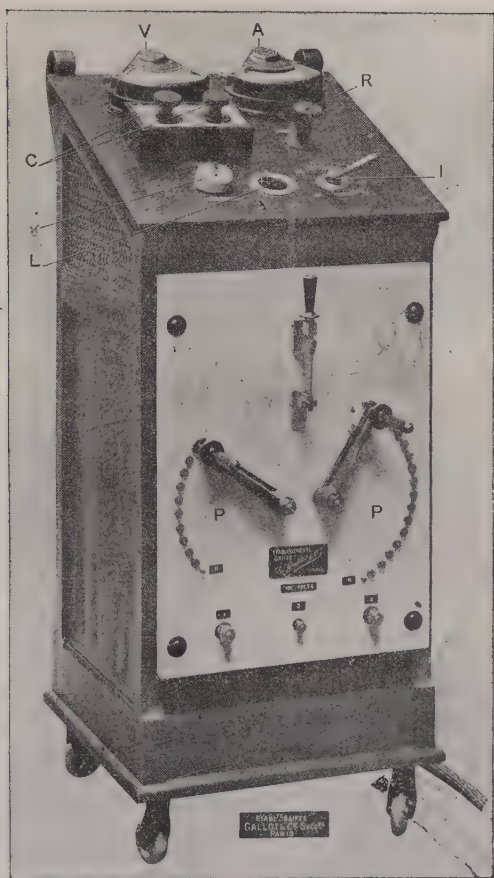
1. A la séance du 13 janvier de la Société de Radiologie Médicale, M. le Dr Aubourg a communiqué une note de M. du Parc, ingénieur des ETABLISSEMENTS GALLOT, concernant l'emploi de ce meuble pour l'alimentation du tube à radiateur, note dont voici les grandes lignes : le meuble d'Arsonval-Gaiffe contenant un transformateur de 50.000 à 60.000 volts, il suffit de mettre les condensateurs hors circuit et de brancher le transformateur directement aux bornes d'utilisation du spin-

Quant aux contacts tournants, on peut les utiliser soit immédiatement, soit à la manière des radiologistes américains en branchant directement le tube aux bornes du transformateur, bien entendu après adjonction d'un transformateur pour le filament et limite de la tension à 14 centimètres d'étincelle équivalente.

Les ÉTABLISSEMENTS GAIFFE, GALLOT ET PILON ont réalisé un *auto-transformateur de réglage* pour l'utilisation des Tubes Coolidge avec le commutateur tournant. Le transformateur de filament étant placé près la sortie du fil négatif, il faut interposer dans le circuit primaire cet auto-transformateur, dont l'enroulement possède un certain nombre de sorties reliées aux plots de deux commutateurs à cinq directions ; par le jeu de combinaison des deux manettes, il est possible d'avoir 25 variations de potentiel au primaire et partant au secondaire.

Le même meuble contient les rhéostats habituels pour l'usage des ampoules à gaz raréfiés.

termètre. Le transformateur de filament se pose à proximité du pôle négatif et sa planchette de réglage se fixe sur le côté droit du meuble, du côté des commandes. Sur le meuble primitif à résistances liquides et condensateurs en dérivation, il faut supprimer la connexion réunissant les condensateurs en dérivation et déplacer les deux fils partant des bornes du transformateur pour les mettre aux bornes du spintermètre, les deux soupapes déconnectées restant en place. Avec le meuble nouveau modèle, il suffit de réunir les bornes de l'éclateur aux bornes du spintermètre. Quant au fonctionnement il faut s'assurer que la tension ne dépasse point 55000 à 60000 volts à vide, c'est-à-dire une étincelle équivalente de 14 à 15 centimètres entre pointes. Pour régler l'intensité dans l'ampoule il suffit d'agir sur le rhéostat du filament. Pour diminuer la pénétration il faut diminuer le nombre de plots en circuit.



MEUBLE AUTO-TRANSFORMATEUR DE RÉGLAGE
pour l'utilisation des Tubes Coolidge avec le commutateur tournant.

V, Voltmètre ;
A, milliampèremètre ;
R, rhéostat du filament ;
C, commutateur de l'auto-transformateur ;
I, interrupteur des Rayons ;
i, interrupteur du filament ;
L, fenêtre de la lampe témoin du filament ;
P, rhéostat pour les tubes à gaz raréfiés.

(Etablissements GAIFFE-GALLOT et PILON),

FIG. 9.

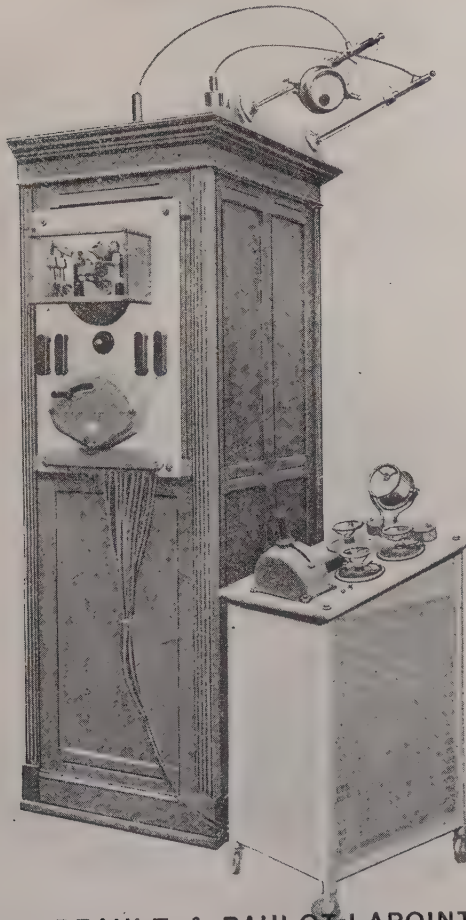
Pour l'emploi du Tube à Radiateur, il faut limiter la tension maxima à 80000 volts.

La MAISON MASSIOT utilise dans le même but le transformateur habituel de son commutateur tournant en adjoignant sur le primaire cinq sorties reliées aux plots d'un commutateur. Le transformateur de filament est logé à la partie inférieure du meuble.

La MAISON DRAULT ET RAULOT-LAPOINTE a modifié dans ce but par quelques perfectionnements son contact tournant. Le transformateur plus puissant possède 7 différentes sorties au primaire, sorties reliées aux bornes d'un commutateur. La source de chauffage du filament est réalisée au moyen d'une antenne transformatrice placée à la partie supérieure autour de la sortie négative, le filament, réglable par une self mobile, restant toujours en circuit à l'intensité minima.

Un démarreur à enclenchement asservi et un sélecteur de phases automatiques assurent le démarrage et l'accrochage du moteur toujours sur la même phase.

Un guéridon métallique porte les appareils de réglage : rhéostat de réglage pour les tubes à gaz, commutateur gradué en kilovolts prenant 7 rapports de transformation sur le primaire de la haute tension et son kilovoltmètre, rhéostat de filament par self. Un interrupteur général à deux directions ferme le circuit à gauche pour le Coolidge, à droite pour les tubes à gaz. Certains meubles comportent de plus un disjoncteur automatique pour la radiographie.



DRAULT & RAULOT-LAPOINTE
Constructeurs — PARIS

COMMUTATEUR TOURNANT ET SON MEUBLE DE RÉGLAGE
modifiés pour l'emploi des Tubes Coolidge.

(DRAULT et RAULOT-LAPOINTE).

FIG. 10.

Mais la simplicité de maniement du Tube à Radiateur a fait rechercher la simplicité de l'appareillage, de telle sorte que sous un petit volume on puisse grouper un minimum d'appareils robustes et indéréglables en vue du radiodiagnostic, tout en s'entourant de toutes les garanties nécessaires de sûreté.

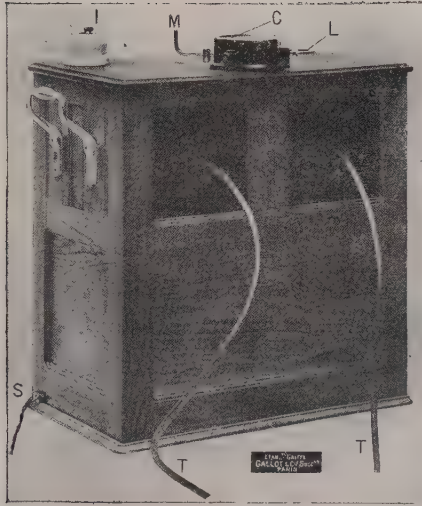
Dérivant en principe du meuble établi primitivement en Amérique par le professeur Shearer, ces appareillages sont plus connus en France sous la désignation de *Meubles Coolidge* et utilisent uniquement le Tube Coolidge à Radiateur. Ils sont donc composés d'une source de basse tension, déjà étudiée, et d'une source de haute tension, transformateur statique dont le type nous est connu.

Il semblera donc préférable de considérer ces différents meubles à tour de rôle, suivant leurs constructeurs, chacun possédant des caractéristiques spéciales.

ÉTABLISSEMENTS GAIFFE-GALLOT ET PILON. — Deux types actuellement de Meubles Coolidge, trois même si l'on considère le meuble-châssis Belot-Faraday qui, de par son principe et sa construction entre plutôt dans le chapitre des dispositifs de protection.

A. — *Petit modèle transportable à pénétration fixe.*

Caisse d'ébénisterie à poignée, contenant un transformateur statique ; deux bobines sont réparties sur deux branches parallèles du cadre magnétique, l'enroulement secondaire, en galettes étant superposé à l'enroulement primaire (diamètre du fil 18/10^e) seule-



MEUBLE COOLIDGE
Petit modèle transportable.

- S Arrivée du courant primaire.
- T Départ des conducteurs à haute tension.
- I Interrupteur.
- C Milliampèremètre.
- M Manette commandant le réglage par l'ascension d'un noyau de Self mobile.
- L Fenêtre de la lampe témoin.

(Etablissements GAIFFE-GALLOI et PILON).

FIG. 11

ment dans sa partie centrale, suivant le procédé Rochefort. Isolement des couches au papier et des enroulements entre eux au moyen de carton comprimé. Le tout est noyé dans l'isolant pâteux spécial. Un certain nombre de spires du secondaire sont réservées pour le chauffage du filament.

Le réglage de ce chauffage s'obtient par l'ascension d'un noyau de self mobile commandé par une manette. On suivra les variations du réglage au moyen d'un milliampèremètre relié au centre de l'enroulement secondaire ainsi qu'une borne de mise à terre, et placé, avec la manette de réglage et l'interrupteur général, sur la partie supérieure de la caisse. Située dans un des angles une fenêtre permet de vérifier l'allumage au tube.

Dans un modèle récent, l'enroulement primaire est relié à différentes bornes extérieures correspondantes à différentes tensions : 78 volts (groupe électrogène), 110 volts (secteurs et commutatrice), 155 v. (commutatrice) et 220 volts (secteurs).

Encombrement : $60 \times 60 \times 35$ centimètres.

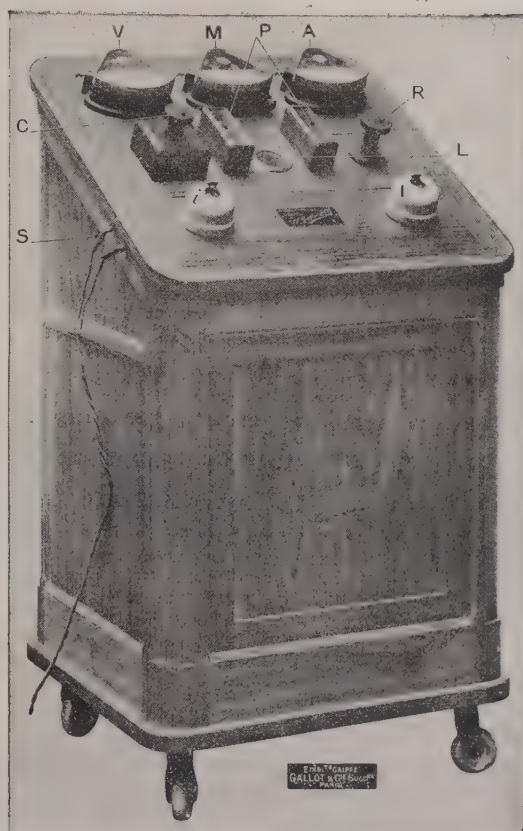
Poids : 70 kilos.

Rendement : 1 à 15 milliampères sous 55000 volts (6° à 7° B).

Un châssis métallique à roulettes a été construit pour porter ce meuble et le rendre mobile.

B. — *Meuble à pénétration variable.*

Meuble d'ébénisterie de $1,04 \times 55 \times 60$ et pesant 150 kilos. Le dessus incliné formant pupitre reçoit les appareils accessoires. Ce meuble contient : un



MEUBLE COOLIDGE A PÉNÉTRATION VARIABLE

- S Arrivée du courant primaire.
- V Voltmètre-Kilovoltmètre.
- C Commutateur de l'auto-transformateur.
- M Milliampèremètre du Tube.
- i interrupteur du Filament.
- A Milliampèremètre du Filament.
- R Manette du rhéostat du Filament.
- I Interrupteur du circuit du Tube.
- P Coupe-circuit à plombs fusibles.
- L Fenêtre de la lampe témoin.

(Etablissements GAIFFE-GALLOT et PILON).

transformateur statique analogue au précédent, mais plus puissant et non sectionné, pour la haute tension; un transformateur à basse tension pour le chauffage du filament, un auto-transformateur à cinq sorties et le rhéostat de réglage du primaire du filament.

Sur le dessus à la partie gauche, les commandes de la pénétration variable : le commutateur à cinq directions (cinq plots actifs séparés par cinq plots morts) gradué en kilovolts et degrés Benoist de 40 KV-4° B à 80 KV-8° B, son interrupteur, son voltmètre gradué également en kilovolts (1) indiquant la tension aux bornes de l'ampoule et son coupe-circuit à fusible ; la partie droite est réservée à l'intensité, variable par la manette du rhéostat, son interrupteur, son milliampèremètre monté au milieu du secondaire et indiquant l'intensité du courant traversant l'ampoule, un ampèremètre monté sur le primaire du transformateur de filament et permettant de repérer les régimes du filament cathodique, le coupe-circuit à fusible.

A la partie centrale un orifice obturé par un papier transparent Virida, s'éclaire en même temps qu'est allumé le filament : c'est donc un témoin d'allumage et d'extinction. L'arrivée du courant primaire se trouve sur le côté. Sur le fond la sortie des conducteurs d'utilisation, et en dessous une borne de mise

1. Le voltmètre est monté, bien entendu, sur le circuit primaire. Sa graduation en kilovolts est établie expérimentalement au moment du montage par le moyen de l'étincelle équivalente à une tension secondaire pour une tension primaire connue au moyen du voltmètre, la tension secondaire correspondante à chaque valeur de la tension primaire est reportée en kilovolts en face de cette dernière sur le cadran du voltmètre.

à terre et à la masse reliée au neutre de l'enroulement secondaire.

L'intensité obtenue avec cet appareil peut atteindre 35 milliampères et même au delà.

MAISON DRAULT ET RAULOT-LAPOINTE. — Cette maison ne construit plus à l'heure actuelle qu'un seul modèle de Meuble Coolidge, meuble métallique ou d'ébénisterie au choix.

Le dessus incliné porte les appareils de réglage et de contrôle, soit à gauche et d'arrière en avant kilovoltmètre et commutateur de l'auto-transformateur gradué en 7 valeurs de kilovolts maxima — kilovolts efficaces — degrés Benoist commandant la tension primaire, et l'interrupteur du primaire de haute tension ; à droite et dans le même sens, milliampèremètre de l'intensité dans le tube, rhéostat de réglage du filament au moyen d'un noyau de self mobile et interrupteur du circuit du filament, celui-ci muni d'un dispositif de sûreté empêchant la charge du transformateur sans allumage préalable. A l'intérieur du meuble et en haut, la self à noyau mobile et l'auto-transformateur (voir fig. 14, page 93).

Reposant sur le fond, la cuve à huile contenant le transformateur du filament et le transformateur de haute tension : deux bobines en série, montées parallèlement sur deux côtés du noyau magnétique, les enroulements étant isolés par un diélectrique approprié, et l'enroulement secondaire étant fait de galettes espacées.

L'appareil est muni d'une borne de mise à terre reliée au neutre du transformateur.

Puissance : de 55 KV maxima — 35 KV efficaces à 80 KV maxima — 55 KV efficaces ; 40 milliampères.

ATELIERS G. MASSIOT. — La Maison Massiot ne construit plus à l'heure actuelle qu'un seul modèle de *transformateur haute tension* applicable au Tube Coolidge à Radiateur.

Du type à circuit magnétique simple à joints enchevêtrés et bobines superposées, son enroulement primaire est porteur de cinq sorties aboutissant aux bornes d'un commutateur permettant de faire varier la pénétration de rayonnement, entre les tensions comprises de 30 à 70 kilovolts au secondaire sous une intensité de 30 milliampères. Une borne supplémentaire permet le fonctionnement sous 70 volts au primaire. Isolement à la paraffine.

Le *transformateur à basse tension* antérieurement décrit est situé sur le même châssis dans le meuble près de la sortie négative de haute tension que rejoint un de ses fils.

SOCIÉTÉ ÉLECTRO-RADIOLOGIQUE (G. CASEL). *Circuit haute tension*. — Transformateur de 30 à 60 K volts : Circuit magnétique carré à joints enchevêtrés, primaire une couche fil de cuivre 30/10 de millimètre, secondaire isolé du primaire au moyen de papier paraffiné et carton, isolement prévu pour 100 K volts, à fil de 3/10 de millimètre sous soie bobiné en galettes à spirales échelonnées et continues sans soudures ; isolant à consistance de vaseline brute résistant à 75 Kvolts sous 5 millimètres. Secondaire coupé en deux au milieu pour le milliampèremètre.

Il est contenu dans un coffre d'ébénisterie à couvercle d'ébonite. Commande du primaire par rhéostat.

TROISIÈME PARTIE

LES DISPOSITIFS DE PROTECTION

I. Protection contre le Rayonnement X. — II. Protection contre la haute tension. — III. Les meubles dits « de sûreté ».

LES MOYENS DE PROTECTION

Le débit non limité du transformateur à haute tension lui-même, la puissance du rayonnement du tube, ces deux facteurs rendent dangereux l'usage d'une installation Coolidge, danger par électrocution ou radiodermite.

Et ce sera rendre vraiment pratique l'usage de l'installation Coolidge que de savoir détourner de ceux qui utilisent les Rayons X, médecins ou malades, les dangers inhérents à leur constitution et à leur fonctionnement.

I. — PROTECTION CONTRE LES RAYONS X

De même que le Radium et les corps radioactifs, les Rayons X, bien qu'ils n'occasionnent aucune sensation quelconque au moment de leur application, peuvent provoquer toute une série d'accidents cuta-

nés dont les degrés extrêmes sont des plus redoutables. Mais comme il ne semble point y avoir d'idiosyncrasie habituelle vis-à-vis de leurs radiations, ces accidents sont toujours évitables. Ils dépendent exclusivement de la dose et de la qualité des Rayons. Il est donc de la plus haute importance que les radiologistes emploient tous les instruments de mesure que nécessite une installation de ce genre, instruments de mesure pour les rayons utilisés, mais encore qu'ils sachent rechercher, éviter et combattre les rayons inutiles pour le radiodiagnostic, qui peuvent les atteindre, eux ou leurs assistants ou atteindre les malades examinés.

Il y a donc lieu de considérer, avec le Dr Darier, de l'Hôpital St-Louis, les radiodermites opératoires, concernant les malades et les radiodermites professionnelle dont les radiologistes sont eux-mêmes victimes. De la première seront atteints les malades exposés trop longtemps à une dose trop forte de Rayons — examens ou traitements prolongés et successifs, réglage d'ampoule et radiographies renouvelés dans de courts délais —, avant que la quantité de rayons absorbés ait pu s'éliminer complètement, les Rayons X ayant un effet cumulatif compensé par une déperdition avec le temps.

Quant aux radiologistes, constructeurs ou médecins, ils sont exposés s'ils ne prennent pas constamment des précautions minutieuses, à une *radiodermite* diffuse, insidieuse, chronique et progressive, grave et parfois mortelle.

Et l'on ne compte plus à l'heure actuelle ces victimes du devoir professionnel, que des lésions pures

ou qu'un épithélioma cutané tardif, entraînant des mutilations localisées ou étendues, tiennent écartés de leur profession.

Ces dangers ne sont point nouveaux, et la puissance de rayonnement du Tube Coolidge semble devoir les aggraver. En effet si toute ampoule à Rayons X est dangereuse et doit être considérée comme telle, à plus forte raison le Tube Coolidge doit être considéré comme l'étant davantage « et non point seulement parce que l'anticathode émet un rayonnement de divers autres points que le point d'impact, mais bien par ce qu'il peut débiter, sans aucune apparence de fatigue un rayonnement qu'un autre tube ne peut émettre que quelques secondes » (H. Pilon).

Et les cupules protectrices, apparues il y a quelques années plus que suffisantes pour les tubes alors existants, sont devenues inefficaces contre le rayonnement du Tube Coolidge (1). Il nous faut considérer toutefois qu'avec le Tube Coolidge, le médecin connaît son débit et qu'il en est le maître, capable de l'utiliser dans les meilleures conditions, exactement et point davantage, avec le résultat cherché. Ceci dit pour le rayonnement direct.

1. D'après le Dr Mignon (Communication faite à la réunion des Radiologistes de la XIII^e région), alors qu'avec une ampoule Pilon OM1 il faudrait quatre-vingt-trois heures d'examen pour absorber 1 H soit quatre cent quinze heures pour 5 H à 60 centimètres sous 2 milliam-pères avec la cupule Gaiffe ordinaire, avec un Tube Coolidge marchant en radiographie avec 50 millis il faudrait dix-huit heures environ ; pratiquement la quantité des Rayons X transmise au travers de la cupule est 23 fois plus grande.

De plus il faut compter avec le rayonnement secondaire, important, puisque d'après M. Fraudet il est possible d'effectuer une bonne radio-

Mais le principe même du Tube est cause, qu'en marche, un certain rayonnement est émis en arrière par le corps de l'anticathode, rayonnement d'une valeur de $1/9^{\circ}$ du rayonnement total.

Par contre, la construction, la forme du Tube et les qualités de son fonctionnement permettent l'usage de moyens de protection aisés que nous allons envisager maintenant, moyens dont le principal et le plus important est l'emploi de cupules hermétiques, nécessaires surtout en vue de l'examen radioscopique, puisque dans ce cas il ne sera plus possible au radiologiste d'avoir recours à la protection d'un écran opaque comme en radiothérapie et en radiographie (1).

A. — Cupules hermétiques.

1° *Cupules de cristal.* — La première en date de ces cupules est la *Cupule-localisateur* en cristal opaque apparue en France avec les appareils américains, et dont les ETABLISSEMENTS PILON avaient assuré la construction, aujourd'hui abandonnée.

Il s'agit de deux hémisphères de cristal au plomb, de 12 centimètres de diamètre et percés, suivant un rayon coïncidant avec la section — d'une fenêtre ronde

graphie de main en douze secondes à 2 m. 50 en arrière de l'anticathode, avec 50 milliampères.

Voir à ce sujet : A. Lumière : Sur les foyers des radiations émises par les tubes utilisés en radiologie (*Journal de Radiologie et d'Electrologie*, sept. oct. 1918).

1. Le D^r Ledoux-Lebard a préconisé l'emploi d'un filtre de 1 millimètre d'aluminium entre l'ampoule et le sujet diminuant environ 50 % d'un rayonnement de 6° et 7° Benoist sans diminuer notablement la fluorescence de l'écran.

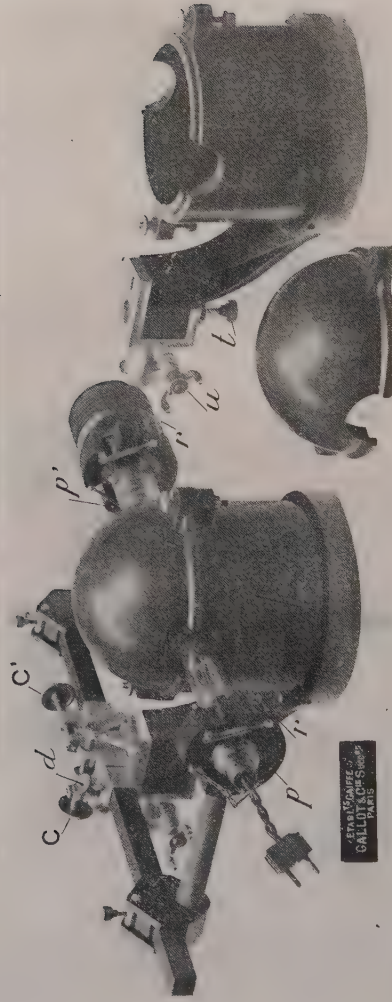
de 6 centimètres destinée au passage du rayon normal. Suivant un axe perpendiculaire à ce rayon, chacun des hémisphères est continué par un cylindre de même matière, destiné à contenir les extrémités polaires du tube. Les deux hémisphères s'emboîtent et sont maintenus par trois boulons d'ébonite.

Cette cupule présentait comme inconvénient sa perméabilité aux rayons lumineux issus du filament incandescent, gênants pour la radioscopie.

2° *Cupule hermétique* GAIFFE-GALLOT ET PILON. — « Elle est constituée, dit la notice des constructeurs, par une matière opaque isolante résistant bien à la chaleur dégagée par une ampoule en fonctionnement continu. Son épaisseur est telle que son opacité pour un rayonnement 7°-8° Benoist correspond à 1 mm. 5 d'épaisseur de plomb. »

Ainsi qu'il est visible sur la figure, la cupule est constituée de deux parties s'emboîtant et assemblées par deux écrous (ces deux parties sont échancrées pour le passage des extrémités), l'une hémisphérique ou calotte l'autre cylindrique fixée d'autre part à une pièce de bois durci, ou collier porte-cupule aboutissant à une douille métallique pour le montage sur le pied support et recevant le porte-ampoule habituel.

Le tube fixé dans le porte-ampoule au moyen des pinces et de la réglette, est ensuite introduit dans la partie cylindrique, séparée de la calotte. Le porte-ampoule est fixé sur la douille-support, et centré grossièrement ; la calotte est boulonnée à nouveau ; il ne reste qu'à fixer l'ensemble sur le porte-tube et à pratiquer un réglage précis de position.



CUPULE HERMÉTIQUE
pour l'emploi du Tube Coolidge à Radiateur.

- A. Calotte hémisphérique.
- B. Corps cylindrique.
- C. Collier porte-cupule.
- D. Douille métallique.
- E. Porte-ampoule.

(Établissements GAIFFE-GALLOT et PILON).

Fig. 13.

Etablies spécialement pour le Tube à Radiateur, cette cupule comporte le minimum d'ouvertures, réduites elles-mêmes aux dimensions strictement nécessaires pour le passage des extrémités du Tube.

De plus, cette cupule étant opaque à la lumière, le radiologiste n'est plus gêné par l'incandescence du filament cathodique.

B. — Dispositifs accessoires de protection.

Mais l'emploi d'une cupule, si hermétique soit-elle, ne proscrit point l'usage de dispositifs de protection accessoires dont l'opacité aux Rayons X ajoute une protection supplémentaire à celle de la cupule.

Et sans nous attarder après les lunettes, gants et tabliers, accessoires habituels du radiologiste, nous pourrions envisager aussi les écrans opaques supplémentaires garnissant, soit tout un côté de la table ou du châssis d'examen, ou bien plus localisés, entourant le chariot porte-ampoule et coulissant avec lui.

II. — PROTECTION CONTRE LA HAUTE TENSION

L'accident mortel dont fut victime le Dr JAUGEAS à l'hôpital américain de Neuilly, le 28 novembre 1919, a provoqué parmi les radiologistes la recherche des méthodes à employer pour la protection du malade et du médecin avec le matériel Coolidge. Comme l'a dit le Dr Henri Béchère au début de sa communica-

tion à la séance du 13 janvier 1920 de la Société de Radiologie Médicale : « Nous avons certainement déjà la notion du danger couru, mais malgré tout, nous ne pensions point que ce danger fut si proche de nous. »

Car avec l'emploi du Meuble Coolidge, le danger d'électrocution déjà grand avec les appareillages ordinaires devient ici maximum par suite de l'emploi du transformateur statique, à circuit magnétique fermé.

Nous avons vu en effet, au cours de l'étude technique de cet appareil, qu'un transformateur statique est *auto-régulateur*, c'est-à-dire que son débit au primaire sera directement proportionnel à son débit au secondaire, et inversement. Ce que pratiquement nous pouvons résumer en cet axiome : *dans un transformateur à circuit magnétique fermé le débit au secondaire est illimité.*

D'autant plus que dans les meubles précédents, sources de haute tension : contacts tournants, meuble Villard-d'Arsonval-Gaiffe, le débit au primaire du transformateur est limité par le rhéostat qui sert au réglage du tube, rhéostat insuffisant pour obtenir une sûreté absolue.

Par contre, dans le meuble Coolidge, — mis à part le matériel Casel de la SOCIÉTÉ D'ELECTRO-RADIOLOGIE commandé par un rhéostat, — aucune limite du débit au primaire puisque les variations de potentiel sont obtenues par auto-transformateurs ou sections du primaire, et les variations d'intensité par le rhéostat ou la self du circuit filament, le rendement étant proportionnel à l'un et à l'autre.

Done, qu'une dérivation accidentelle — rupture de câble ou contact — mette en circuit un corps humain parallèlement à l'ampoule, comme la résistance de ce corps humain sera infiniment moins grande que celle de l'ampoule, le courant ou la plus grande quantité du courant, suivant en cela la loi de Kirchhoff, empruntera la voie la moins résistante et par conséquent l'homme.

Mais, que, par suite de dispositifs prévus, il soit créé en cas d'accident un circuit de résistance nulle, parce que non appréciable, au moyen de conducteurs reliant les appareils à la terre, et tout le courant sera dérivé par cette dernière voie. Et c'est là le principe des moyens de protection utilisés à l'heure actuelle dans les laboratoires de radiologie.

Pour cette étude des moyens de protection, nous ne saurions mieux faire que de nous reporter à la communication déjà mentionnée du Dr Henri Bécclère à la Société de Radiologie, et à la discussion qui l'a suivie.

La première condition qui semble s'imposer est la liberté de gestes pour le radiologiste, les assistants et les malades, sans crainte d'un contact malencontreux avec un fil quelconque conducteur de haute tension ; il faudra donc une pièce grande, longue et large, et d'autant plus grande qu'elle devra contenir d'appareils *indispensables*, — châssis, table, pied, Meuble Coolidge et mobilier accessoire, — et qu'elle sera appelée à recevoir de personnes, dans les hôpitaux ou cliniques par exemple.

Puis, considérant le cas normal, et les conducteurs de haute tension placés presque à portée de la main,

malgré le grand isolement qu'ils présentent de par leur enveloppe, il semble qu'il y aurait intérêt à renforcer encore cet isolement en les faisant passer dans un tube non conducteur, par exemple un tube d'ébonite (Maison Gallot) ou de micanite (Ateliers Maurice Dutertre). Et d'autre part ces fils pour la plupart étant placés derrière les châssis ou sous les tables, il semble facile au moyen d'un accessoire quelconque d'interdire l'accès dans leur voisinage.

Puis ces fils pouvant se rompre ou leurs connexions se détacher, que des dispositifs efficaces de rappel, ressorts ou contrepoids les attirent à eux dans ce cas, et que les connexions auparavant aient été renforcées par un moyen quelconque, pince de serrage ou crochet ou bien doublées.

Dans le cas fréquent où l'on ferait usage de trolleys, il faut prévoir leur rupture, et il est facile d'adapter dans le laboratoire de radiologie le dispositif que l'on rencontre au long des routes traversées par des lignes à haute tension : des fils nus sont tendus en réseaux à mailles larges à une certaine distance au-dessous du trolley inférieur, et ce réseau est relié à une « terre franche », conduite d'eau de préférence.

De même, malgré la sûreté offerte par les commutateurs spéciaux, on devra éviter de laisser reliés aux trolleys, ou pendre les fils détachés des appareils dont on ne se sert point.

Le point capital semble être la mise à terre directe des appareils servant aux examens, châssis, tables, pieds. Les constructeurs tendant de plus en plus à construire ces derniers appareils entièrement mé-

talliques et les munissant d'une borne spéciale réservée à cet usage, il sera facile de les mettre à terre ; quant aux appareils de fabrication plus ancienne mêlés de bois, il faudra en relier à la terre toutes les parties métalliques : chariot, diaphragme, manettes, etc., au moyen de boudinettes, ou mieux de fil souple, plus robuste.

Il est recommandable également de munir l'arrivée du courant au primaire du transformateur de plombs fusibles exactement proportionnés au débit, deux jeux de préférence, l'un pour la radioscopie et l'autre plus perméable pour la radiographie. S'ils n'empêchent point le court-circuit, par leur fusion ces plombs couperont le courant primaire, supprimant ainsi la dérivation.

Puis, afin de protéger le malade, principalement au cours de certaines radiographies, lorsque les extrémités métalliques de l'ampoule sont à proximité du patient, il serait bon de le recouvrir d'un léger tissu métallique relié à la terre, tissu que — par suite des modes — l'on rencontre couramment dans le commerce. Et M. Henri Bécclère préconise même le vêtement de tissu métallique qui pourrait dans certains cas être utilisé sous la blouse par le radiologiste.

Certains, avec le Dr Lomon, conseillent l'emploi de la commande du courant par pression du pied sur une pédale automatique.

De son côté, l'Administration de l'Assistance Publique recommande à l'heure actuelle la pose, dans les laboratoires de radiologie des hôpitaux de Paris, d'un interrupteur général placé sur le mur près de la

porte d'entrée du laboratoire (la place de cet interrupteur indiquée par une lampe spéciale toujours allumée pendant le service). Elle ordonne en outre en cas de vérification de l'installation et en particulier du meuble producteur de haute tension, de ne pas se contenter de couper le courant, mais de débrancher les fils d'arrivée du courant.

III. — LES MEUBLES DE SURETÉ

Au cours de la discussion sur les moyens de protection, le D^r Belot préconisa l'application à la radiologie médicale des dispositifs industriels dits « cabines de transformateur pour haute tension », et annonça la construction d'un appareil de ce genre, appareil « complet » si l'on peut dire, et que nous étudierons maintenant.

APPAREIL DU DISPENSAIRE LÉON BOURGEOIS (Hôpital Laënnec). — Nous pourrions prendre comme type le dispositif réalisé dernièrement à l'Hôpital Laënnec par M. du Parc, Ingénieur DES ETABLISSEMENTS GAIFFE-GALLOT ET PILLON sur les données du D^r Maingot, chef du Laboratoire de Radiologie de cet hôpital.

Il s'agissait, en l'occurrence, de monter une salle d'examens radioscopiques au Dispensaire Anti-tuberculeux rattaché à l'Hôpital Laënnec — dispensaire dont les très nombreux consultants et malades étaient jusque là examinés par le Laboratoire de Radiologie de l'Hôpital, d'où encombrement de ce service déjà surchargé — cette salle particulière d'examen devant

servir de triage. Le matériel ancien mis à la disposition de l'ingénieur consistait en un châssis d'examen vertical (modèle Bécère-Drault) et un meuble d'Arsonval-Gaiffe. Dans une grande salle, 6×8 mètres, à double issue, après obturation des fenêtres et portes vitrées, le Dr Maingot fit placer le châssis à un mètre d'un des murs latéraux ; derrière le châssis et contre le mur furent placés : à même le sol le transformateur statique du meuble, et au-dessus sur une tablette, le transformateur du filament, la réunion des deux au moyen du fil négatif étant faite par l'intermédiaire du milliampèremètre. Le Tube Coolidge à Radiateur — enfermé dans une cupule opaque de Gallot fixée sur le chariot-diaphragme — fut connecté, l'anode directement au positif de la haute tension grâce à une boudinette, la cathode par l'intermédiaire d'un conducteur double tendu par deux poulies et ressort de rappel, aux bornes d'une potence vissée à la partie supérieure du châssis, bornes reliées elles-mêmes aux bornes d'utilisation du transformateur du filament. Entre les deux antennes du transformateur deux pointes de cuivre limitent à 14 centimètres l'étincelle équivalente. Fixé au mur le tableau de commande du meuble d'Arsonval porte l'ampèremètre, les coupe-circuits à fusible, l'interrupteur et le rhéostat du primaire du transformateur à haute tension, c'est-à-dire le réglage de la pénétration du rayonnement X. Sur un pupitre porté par un meuble à roulettes, l'interrupteur du filament, ses fusibles, son rhéostat, son milliampèremètre et sa fenêtre-témoin lumineuse, puis un second jeu de fusibles pour le primaire de haute tension, des com-

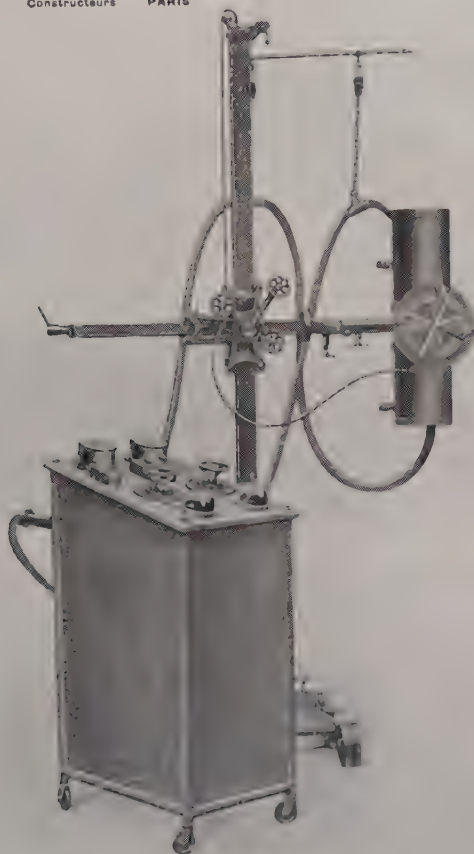
mutateurs à deux directions distribuant l'éclairage total ou l'éclairage en veilleuse au moyen de lampes alimentées tour à tour en série ou en parallèle, et un interrupteur à deux directions donnant, soit le courant dans le tube, soit l'éclairage. Comme moyens de protection : les deux montants latéraux du châssis furent réunis au mur à gauche par une grille, à droite par une porte dont l'ouverture interrompt tout courant. Les intervalles entre le panneau antérieur et les montants furent obturés par des feuilles d'aluminium fixes à droite, mobiles et coulissant à gauche pour la manœuvre du chariot porte-ampoule. Toutes les pièces métalliques furent reliées à un câble de cuivre de 60/10^e de millimètres soudé, dans le sous-sol, à une conduite d'eau. Voisin de la porte d'entrée, un interrupteur général est éclairé par une lampe bleue dont il commande l'allumage.

Pour l'usage, radioscopies pulmonaires, la pénétration a été réglée et sa mobilité limitée ; l'intensité, elle aussi, a été limitée sur le rhéostat du filament par l'adjonction d'une pince serrée qui ne permet l'usage que de la phase décroissante de cette intensité, en dessous de 10 milliampères.

Cet appareil, confié à des cliniciens non spécialistes de radiologie, leur rend les plus grands services, tant par son rendement que par sa simplicité de maniement.

MAISON DRAULT ET RAULOT-LAPOINTE. — a) Partant du principe de la cage de Faraday, la MAISON DRAULT ET RAULOT-LAPOINTE en a fait breveter, au début de décembre 1919, une réalisation originale,

DRAULT ET RAULOT-LAPOINTE
Constructeurs PARIS



MEUBLE COOLIDGE A PÉNÉTRATION VARIABLE
PIED PORTE-AMPOULE AVEC CUPULE
ET CONDUCTEURS DE SÛRETÉ
(DRAULT et RAULOT-LAPOINTE).

FIG. 14.

appareillage offrant toutes garanties de sécurité. Il est composé d'une part de son Meuble Coolidge, mais contenu, cette fois, dans un châssis métallique, et de son pied porte-ampoule grand modèle. Au bras horizontal de ce pied, en place de cupule, est fixée une longue boîte cylindrique en métal doublée de 2 millimètres de plomb ; les extrémités de cette boîte sont fermées par des couvercles hermétiques, tandis qu'une ouverture antérieure porte le diaphragme, et que deux orifices postérieurs permettront le passage des conducteurs et des bras du porte-ampoule entièrement métallique. Ces deux conducteurs, et c'est l'originalité de la réalisation, se rendent du meuble à l'ampoule à l'intérieur de deux tubes métalliques flexibles de 3 centimètres de diamètre, longs de 3 m. 80, tubes dont ils sont parfaitement isolés.

Le poids de ces tubes est équilibré par deux enrouleurs à ressort ; et toute cette masse métallique, ce « tout » de métal est doublement mis à la terre, et par le neutre du transformateur, et par une borne située à la partie supérieure du pied.

Cet appareil permet les examens et les radiographies dans toutes les positions : sujet debout ou assis, sujet couché, ampoule au-dessus ou au-dessous de la table ; de même que toutes incidences intermédiaires.

b) Dans un modèle plus simple et s'appliquant aux installations anciennes, les extrémités polaires du tube et la cupule sont entourées d'une cage métallique, isolée du tube au moyen de diélectrique, reliée à terre par l'extérieur des fils constitué d'une gaine

métallique souple. La source d'énergie sera le meuble métallique déjà décrit.

ETABLISSEMENTS GAIFFE - GALLOT ET PILON. —

A. — *Châssis Belot-Faraday*. — Cet appareil est la réunion en un seul du Meuble Coolidge à pénétration variable, du Tube à Radiateur dans sa cupule, et du dossier radiologique vertical dit châssis Belot, tous appareils rassemblés suivant l'expression de M. Belot en une « cabine autonome ». Il se compose :

Du dossier radiologique vertical, c'est-à-dire un cadre vertical construit complètement en tubes d'acier, sur lequel coulisse par des galets un second cadre assurant le déplacement horizontal du chariot porte-ampoule et du diaphragme, ensemble parfaitement équilibré. Ce cadre porte à sa partie antérieure un panneau de bois contreplaqué doublé postérieurement d'une feuille d'aluminium. Sur le côté gauche passent les deux commandes : mouvement horizontal du chariot et au-dessus ouverture du diaphragme ; sur le côté droit les bras et la pince articulée destinés au support du cadre porte-écran, pince munie de nouveaux perfectionnements ; vers la partie inférieure une banquette mobile pour l'examen des enfants.

Les côtés de ce châssis sont fermés par deux cadres grillagés, tandis qu'en arrière ces cadres sont remplacés par une porte mobile, dont l'ouverture interrompt le courant. Le tout, panneau de bois, cadres grillagés et porte, formant une cabine qui contiendra les appareils de production : à la partie inférieure le bac contenant les deux transformateurs, déjà décrits



E^{ts} GAIFFE-GALLOT & PILON

CHASSIS BELOT-FARADAY

Vue antérieure : cadre d'examen et appareils de contrôle.

FIG. 15.



E^{ts} GAIFFE-GALLOT & PILON

CHASSIS BELOT-FARADAY

Vue postérieure : sources d'énergie et dispositifs de sûreté.

FIG. 16.

et les conducteurs. Le conducteur inférieur, positif, simple boudinette, s'attache à l'anode-radiateur ; le négatif passe à l'intérieur d'un tube d'ébonite et se fixe à une traverse supérieure ; de là il se rend à la cathode après s'être réfléchi sur un double moufle.

En avant et latéralement, à gauche du cadre d'examen sont placés les organes de réglage et de contrôle, soit de haut en bas, milliampèremètre de l'ampoule, ampèremètre du filament, kilovoltmètre, commutateur de pénétration — l'auto-transformateur étant placé derrière — rhéostat du filament, les interrupteurs et les coupe-circuit à fusibles. Deux bornes sont prévues pour l'adjonction d'un disjoncteur automatique à minuterie sur le circuit primaire. A la partie supérieure est placée une lampe d'un modèle spécial pour l'éclairage des appareils de mesure.

Comme dispositif de protection : double mise à la terre du transformateur par l'intermédiaire de résistances accessoires, toutes les autres parties du meuble étant reliées à la terre elles aussi.

Le même dispositif est en voie de réalisation pour la table Belot-Ledoux-Lebard ; dans ce cas, les transformateurs seraient placés à une extrémité de la table augmentée de longueur et entièrement grillagée latéralement.

B. — *Gouttière pare-étincelle de Belot.* — Réalisée sur les indications du D^r Belot en vue d'éviter le contact du malade ou du médecin avec les extrémités du Tube à Radiateur contenu dans la cupule hermétique. Cet appareil se compose d'un bouclier d'aluminium demi-cylindrique et fermé complète-

ment aux extrémités en laissant un espace de 8 centimètres entre lui et le tube. Il se fixe par un orifice circulaire au pourtour de l'ouverture de la cupule. Il doit, par ailleurs, être relié à la masse du pied porte-ampoule habituel qu'il complète.

QUATRIÈME PARTIE

UTILISATION PRATIQUE ET CONCLUSIONS

UTILISATION PRATIQUE

Nous considérerons seulement l'utilisation du Tube Coolidge à Radiateur au point de vue technique pur, sans entrer dans des détails relevant plutôt des cas particuliers de la clinique radiologique.

Nous avons vu déjà, au cours de l'étude des propriétés du Tube, la grande souplesse de variations du rayonnement et de l'intensité qu'il présente par rapport aux tubes radiogènes à gaz raréfiés. Permettant en quelques secondes d'avoir le rayonnement « mou » peu pénétrant propre à l'exploration des sommets pulmonaires, et, au cours du même examen, de par le simple déplacement d'une manette le rayonnement « dur » pénétrant, nécessaire pour l'étude d'un abdomen ou d'une hanche, assurant la possibilité de débiter dans le même tube et avec la même pénétration les quelques milliampères nécessaires pour effectuer une bonne *scopie* ou bien les 10 ou 30 millis exigés par la *prise d'un cliché* radiographique.

Avec le Meuble Coolidge, suppression de l'appren-

tissage et possibilité pour un bon clinicien, au courant du radiodiagnostic, après quelques minutes d'essai, d'examiner un malade avec précision et avec fruit.

En *radiographie*, quelques difficultés se rencontreront touchant la prise du cliché et les incidences, tous renseignements faciles à trouver dans les traités de Radiologie ; pour le temps de pose, de nombreux auteurs ont donné des formules empiriques, comme la table approximative de Richard Heller et Mylius, comptée d'après le professeur Bergonié en milliam-pères-secondes, variable suivant les régions et le degré de pénétration du rayonnement ; soit la règle à temps de pose de H. Pilon, rappelant la règle à calcul de l'ingénieur.

E.-H. Nelthorpe, d'autre part, a établi dernièrement (*Archives of Radiology and Electrotherapy*, août 1918) la formule suivante du temps de pose pour obtenir des épreuves radiographiques suffisantes :

$$P = \frac{KD^2}{H^2I}$$

dans laquelle P est le temps de pose cherché, D la distance anticathode-plaque, II le degré Benoist, I l'intensité en milliampères, et K une constante variable suivant l'épaisseur des tissus qui est ainsi établie :

Tête antéro-postérieure. . .	3,3
» latérale	2,8
Vertèbres dernières dorsales. . .	3
» lombaires	3
Poumon.	1,5

Région rénale.	3
Pelvis	2,5
Hanche	2,1
Cuisse	1,2
Genou	0,9
Jambe	0,4
Tarse antéro-postérieur.	0,7
Pied	0,3
Epaule	1,2
Bras.	0,7
Avant-bras	0,2
Main.	0,15

On peut également consulter le tableau analogue du Dr Metz, de Washington, reproduit par H. Pilon dans la brochure sur le Tube Coolidge, en notant que ce tableau établi pour le Tube Standard, exige quelques corrections pour le Tube à Radiateur.

Il est bien entendu que ce ne sont là que des indications à titre documentaire et non des règles absolues concernant le temps de pose en radiographie. Chaque installation, chaque tube possèdent un coefficient personnel de rendement variable avec l'un et avec l'autre et que seul l'usage peut enseigner ; de plus le coefficient humain d'habileté et d'expérience professionnelles rendra de meilleurs services que toutes les formules empiriques.

Le faible volume du Tube Coolidge à Radiateur et la facilité de son réglage permettent encore des applications intéressantes par l'emploi simultané de deux tubes connectés en sens inverse ; dans ce cas, grâce à l'effet auto-sélecteur, l'onde inverse pour un tube devient directe pour l'autre, et l'onde suivante

inverse pour le second passera dans le premier ; les rhéostats de filament propres à chaque ampoule permettront de régler les deux tubes à la même intensité, un rhéostat commun permettant de plus de les faire varier d'une même valeur après réglage de chacun séparément.

Et l'on pourra ainsi user soit de la *Fluoroscopie pratiquée simultanément dans deux plans* décrite par H.-C. GAGE, permettant la comparaison au moyen de deux ampoules orientées suivant des axes perpendiculaires et leurs écrans correspondants pour la réduction des fractures, soit des *Méthodes de localisation et d'extraction des projectiles par la double projection simultanée au moyen de deux ampoules jumelées fonctionnant simultanément*, méthode décrite à la même époque, à la fois par COUPÉ, dans le *Journal de Radiologie et d'Electrologie* (mars-avril 1918) et par de RIO-BRANCO dans le *Bulletin de la Société de Chirurgie*.

De plus, l'emploi de Tubes Coolidge à Radiateur jumelés permettra de résoudre pratiquement le problème de la radiostéréoscopie ou plutôt de la radioscopie stéréoscopique (1).

1. Cadwell aurait réalisé un appareil de radiostéréoscopie présenté à Paris, aux conférences de Radiologie du Dr A. Bécclère. Il ne nous a point été possible d'en retrouver la description exacte.

D'autre part le Dr Lièvre et M. Brion ont réalisé l'appareil suivant : deux ampoules sont allumées alternativement et projettent sur un écran une double image. Mais un commutateur tournant placé sur le primaire et commandant l'allumage des tubes commande synchroniquement un obturateur formé de deux disques tournant en sens inverses et dont les pleins et les ajourements correspondent aux périodes d'allumage et d'extinction de la source correspondante.

De plus, encore, le Tube Coolidge à Radiateur permet la radiothérapie à feux croisés au moyen de deux tubes montés tête-bêche suivant la description faite par Belot et Salheil à la Société de Radiologie Médicale de France.

CONCLUSIONS

Les nombreux avantages du Tube Coolidge à Radiateur, avantages exposés au cours de cette étude et que nous rappelons ici :

Unicité de la source d'Electrons constituée par le filament cathodique incandescent ;

Constance du rayonnement X émis ;

Intensité variable pour une même pénétration et pénétration variable en dehors de l'intensité, dans certaines limites ;

Endurance très grande, entre les limites de fonctionnement indiquées ;

Absence de fluorescence des parois ;

Auto-sélection des ondes,

rendent l'usage de ce tube plus pratique que celui des tubes à gaz raréfiés.

Tous les appareils sont utilisables après de légères modifications ; mais l'utilisation la plus pratique est obtenue au moyen des appareillages spéciaux, dits Meubles Coolidge, simples, robustes, silencieux, indé réglables, ne nécessitant point d'apprentissage préalable.

Mais l'usage du Tube Coolidge à Radiateur à puissant rayonnement et de transformateurs de haute tension à débit illimité crée certains dangers exigeant l'emploi de *cupules spécialement opaques* aux

Rayons X et de *dispositifs de protection* dont le plus utile est la mise à la terre des appareils d'utilisation, et l'adjonction de plombs fusibles, protection réalisée dans les *meubles spéciaux de sûreté*.

Au point de vue pratique, souplesse de fonctionnement permettant au cours de la *radioscopie* de varier sans cesse la pénétration, et pour la *radiographie*, au moyen de repères de se replacer toujours dans des conditions identiques de pénétration et d'intensité.

Facilité d'emploi de deux tubes jumelés opérant sous deux incidences.

Faculté de réalisation de la *stéréoradioscopie*.

Mais comme dans toutes les branches de la Médecine, la science de l'Art tient la première place, d'où nécessité absolue de *connaître des éléments d'Electrologie et de Radiologie* et d'*avoir l'expérience de la Clinique radiologique*.

Vu, le Doyen
H. ROGER

Vu,
le Président de thèse,
ANDRÉ BROCA

Vu et permis d'imprimer
le Vice-Recteur de l'Académie de Paris
APPELL

APPENDICE

APERÇU DU MATÉRIEL AMÉRICAIN ACTUEL

Il nous semble intéressant de considérer le matériel américain parallèlement avec le matériel français.

Alors que nos ingénieurs recherchent pour leurs appareils le maximum de perfectionnement sous le moindre volume, leurs collègues américains au contraire s'attachent uniquement à la simplicité de l'appareillage : transformateur de haute tension 55.000 volts à pénétration fixe, transformateur de filament et Tube Coolidge, à seul réglage de l'intensité par le filament.

Ils s'efforcent de réunir sur le même meuble sources électrogènes et porte-tube avec Tube à Radiateur, construisant ainsi des appareils d'une extrême mobilité.

Nous citerons entre autres, par exemple.

L'« Unité universelle de Rayon X » de l'ENGELN ELECTRIC COMPANY, de Cleveland, constituée par un meuble cylindrique de tôle monté sur roulettes caoutchoutées et contenant les transformateurs ; sur le couvercle, l'interrupteur, le réglage et le milliam-

pèremètre du filament. Au centre une colonne continuée par deux bras recourbés, l'un grand, l'autre petit articulés à rotules et permettant toutes les incidences. Le tube 10 mA ou 30 mA, est connecté par l'intermédiaire de conduits aériens isolés.

Le meuble « Campbell-Coolidge » de la CAMPBELL ELECTRIC COMPANY, de Lynn, « simple, silencieux, sûr, toujours prêt », dit la notice — se compose d'un meuble contenant les transformateurs, et portant le milliampèremètre et les commandes, avec interrupteur à pédale. Sur une face est fixé un pied porte-tube, à contrepoids, avec bras horizontal et support de tube à rotule ; là aussi, les fils sont aériens.

La « GENERAL ELECTRIC COMPANY » de Shennectady, a construit un appareil transportable en trois parties : boîtes de réglage avec auto-transformateur, et interrupteur à minuterie, transformateur commun au filament et à la haute tension, pied-support d'ampoules en bois à mouvements angulaires, le transformateur placé sur l'embase lui donnant de l'assise ; les fils sont rappelés par des enrouleurs à ressort.

Dans la construction des « appareils de sûreté » les ingénieurs américains ne sont point non plus restés inactifs ainsi que semble le prouver la communication récente de W. D. Coolidge à la 20^e réunion annuelle de la Société Américaine des Rayons de Roëntgen, communication présentant un *appareil générateur de Rayons X, immergé dans l'huile*, construit par la GENERAL ELECTRIC COMPANY.

Nous ne saurions mieux faire concernant cet appareil que reproduire partiellement cette communication parue dans *The American journal of Roëntge-*

nology (volume VII, n° 4, avril 1920) d'après la traduction que nous en avons faite, nous excusant vu leur grand nombre de ne pouvoir reproduire toutes les figures.

I. — Appareil générateur de Rayons X à immersion dans l'huile.

L'application médicale des Rayons X a presque invariablement été entravée par la possibilité d'électrocution pour le patient ou l'opérateur. Au début de l'histoire de l'art, le contact des circuits de haute tension entraînait seulement des ennuis et une gêne ; mais avec l'apparition des installations à haute puissance, ce qui avait été seulement une source possible d'ennuis est devenu un réel danger.

Ce danger peut en tous cas être éliminé en mettant tout le système à haute tension, y compris le tube, dans une cage métallique reliée à la terre.

Cette méthode cependant, appliquée aux premiers appareils à Rayons X les a rendus encombrants et, mécaniquement, relativement inconfortables.

Avec l'apparition d'un tube à Rayons X auto-sélecteur, qui est stable et qui peut être fait très petit, il devient intéressant de monter le tube à Rayons X à l'intérieur de la cuve du transformateur et immergé dans la même huile que ce transformateur.

La suite comprend la description d'un petit modèle expérimental de ce genre, ainsi qu'un aperçu de quelques-unes des modifications possibles et un sommaire des avantages et des inconvénients de la méthode.

II. — Description d'un petit modèle expérimental.

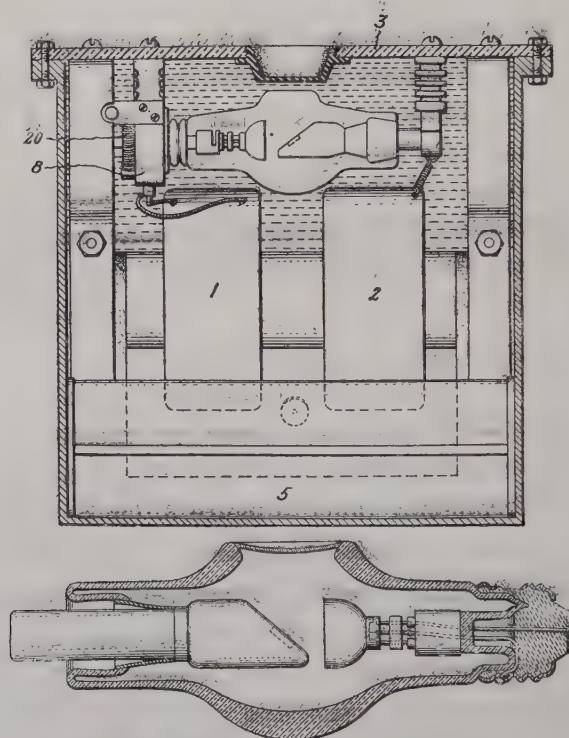
1. *Description générale : (Appareillage complet immergé dans l'huile).* — La boîte rectangulaire en métal, montée à hauteur mobile sur le pied support de tube, contient le transformateur à haute tension et en dessous, le tube spécial à Rayons X.

Partant de cet appareil un câble rejoint la boîte de commande. De cette dernière boîte un second câble gagne la source d'énergie.

Une coupe latérale de l'appareil est montrée par la figure 3 (page 110, A) dans ce cas le cône a été déplacé et l'appareil a été tourné d'un angle de 180° avec la figure précédente, si bien que maintenant le tube se trouve au-dessus au lieu d'être en dessous du transformateur. Dans la figure 3, les bobines de haute tension sont désignées par les chiffres 1 et 2; le tube est monté directement sur celles-ci. Ce tube est fait d'une épaisse feuille de verre au plomb avec une petite fenêtre de cristal sur le côté en face de la saillie d'une fenêtre semblable ménagée dans le couvercle de la cuve. Le faisceau qui émerge de la cuve doit passer à travers ces deux fenêtres et une mince couche d'huile.

Pour permettre l'opération dans toutes les positions, deux chambres d'expansion pour l'huile sont aménagées à la partie inférieure et les espaces vides de la cuve sont complètement remplis d'huile.

La cuve est de métal et le couvercle 3 d'ébonite. Une mince couche d'aluminium peut être appliquée par-dessus et reliée métalliquement à la cuve. Ainsi,



APPAREIL GÉNÉRATEUR DE RAYONS X
A IMMERSION DANS L'HUILE

- A. Coupe verticale (figure 3).
B. Le tube Coolidge spécial (figure 2).

Fig. 17.

la cuve reliée au sol, tout l'appareil de haute tension se trouve à l'intérieur d'une cage métallique reliée à la terre dont rien ne peut émerger que les Rayons X. Le danger de haute tension se trouve dès lors complètement éliminé. L'appareil générateur montré dans la figure 3 peut supporter 10 milliampères sous 60.000 volts efficaces et ne pèse pas 25 kilogrammes. Ce poids léger est appréciable pour faciliter la manœuvre — naturellement le poids de l'appareil générateur détermine le poids et de la forme de l'appareil de soutien.

2. *Le Transformateur.* — Le transformateur est fait aussi petit qu'il convient avec le bon fonctionnement d'un tube rectifiant son propre courant et supportant la puissance mentionnée.

3. *Le Tube.* — Comme le corps de la cuve de métal qui doit contenir le transformateur et le tube, est en parti dépendant de la forme de ce dernier, il est à désirer que celui-ci soit petit. Il y a aussi une autre raison : plus l'ampoule du tube sera petite et plus courte sera l'anode, plus proche du milieu réfrigérant sera le point incandescent du focus et aussi partant, plus effectif sera le refroidissement de l'anode.

Comme il a été dit ailleurs le volume de l'ampoule peut être réduit par l'usage de verre épais. Cela entraîne le même avantage en opérant dans l'huile ou dans l'air.

Pour opérer dans l'huile il faut que les extrémités polaires soient très courtes (pour opérer dans l'air il faut qu'elles soient relativement longues pour éviter les étincelles entre les extrémités et pour éviter une

rupture à la surface des verres, spécialement par temps humide).

La figure 2 (voir ci-contre) montre un schéma en section du tube qui opère bien dans l'huile à 60.000 volts. Des modèles de 5 et 10 milliampères ont été construits avec les même forme et dimensions mais avec des focus plus larges, devant également se rapporter à des tubes de plus grande capacité de puissance. Excepté pour une petite fenêtre de cristal perméable (verre anti-X) le tube est fait de verre contenant 55 % de plomb. Ce verre offre la même protection qu'une feuille de plomb quatre fois moins épaisse : l'épaisseur du tube étant de 6 mm. 3 naturellement la protection offerte est égale à une feuille de plomb de 1 mm. 6 d'épaisseur.

Comme l'extrémité extérieure du corps de cuivre de l'anode est en contact directement avec l'huile aucune radiation n'est à craindre.

4. *Cuves à air permettant d'opérer dans n'importe quelle position.* — Du fait que le tube se trouve dans la même huile que le transformateur il en résulte une grande augmentation de température de l'huile, et en conséquence cela complique grandement le problème de la dilatation de l'huile. Si nous prenons 1.000 watts d'énergie électrique débités au primaire du transformateur, tout sauf à peu près 0,03 watts (énergie dans le faisceau de rayons X utile qui traverse la fenêtre du tube) sera finalement débité dans l'huile sous forme d'énergie calorifique. La cuve et les autres parties de métal comprises en perdent relativement peu, mais l'huile se dilate fortement sous l'effet de la

chaleur. Comme résultat avec l'appareillage en question il y a une expansion d'huile de 10 centimètres pour chaque degré centigrade de la température atteinte.

Un moyen naturel d'éviter cet inconvénient sera de laisser une chambre d'air à la partie supérieure de la cuve du transformateur, et alors l'huile se dilatant comprimera l'air dans l'espace. Mais pour gagner du poids et préserver le ballon la cuve est faite aussi petite qu'il est pratiquement et sans danger possible avec l'isolement de la haute tension. Ainsi on peut opérer avec un transformateur posé debout mais dans certaines autres positions il est arrivé qu'il y ait de l'air là où il devrait y avoir de l'huile et que le transformateur, marchant, se trouvât détérioré. Le champ d'utilisation de l'appareil est grandement accru avec la possibilité d'opérer dans toutes les positions. Ce résultat est obtenu par l'emploi de réservoirs d'air (5, figure). Ces réservoirs sont faits en minces feuilles de métal et reliés chacun avec la cuve principale au moyen de tubes capillaires métalliques allant au centre de la cuve. A l'origine on met dans chacun de ces réservoirs une quantité d'huile telle que même à la plus basse température à laquelle l'appareil puisse être soumis, l'extrémité interne des conduits sera toujours en dessous du niveau de l'huile dans la chambre. L'intérieur de la cuve est rempli d'air à la pression atmosphérique, puis l'ensemble de la cuve est rempli d'huile si bien que le seul air de l'appareil est celui des réservoirs spéciaux. Dans aucune position de la chambre, l'air ne peut s'échapper dans la cuve principale.

5. *Température permise pour le fonctionnement.* —

Avec l'appareil en question, la somme totale d'huile utilisée est de 11200 centimètres cubes. Le total du volume d'air à la pression atmosphérique dans les réservoirs est de 710 centimètres cubes. Si l'huile qui peut se dilater jusqu'à ce volume d'air soit réduit aux $\frac{3}{4}$ de ce total, la pression sur l'intérieur de la cuve sera des $\frac{4}{3}$ de ce qu'elle était et se totalisera par une pression de 384 gr. 8 par centimètre carré par rapport à l'atmosphère (en négligeant l'effet de la température agissant directement sur la pression des gaz). C'est là une pression supportable pour la cuve du transformateur en question et qui permet à l'huile une dilatation de 177 centimètres cubes. Comme l'expansion de l'huile est de 10 centimètres cubes par degré, une expansion de 177 centimètres cubes correspondra à une température montant dans l'huile à 17,7° C' sur les 20° température à laquelle la cuve est remplie.

Comme il a été dit les réservoirs d'air sont à l'origine remplis plus qu'à la moitié d'huile, suffisamment, en fait, pour permettre à la température de l'huile de tomber à 0° C avant que l'air ne s'échappe de ces réservoirs. L'appareil comme il se présente alors peut sans risque, fonctionner avec une température d'huile allant de 10° à 38° C. Cette latitude de température permise peut naturellement être augmentée par l'emploi de plus grandes chambres à air.

6. *Durée autorisée de marche continue à pleine puissance.* — Prenant 18° C comme température attribuée par rapport à celle de la pièce; il est intéres-

sant de calculer combien de temps l'appareil peut fonctionner de suite avec 10 milliampères sous 60.000 volts.

La production d'électricité du transformateur n'a pas été mesurée, mais pour le calcul sommaire il peut être admis que 80 % de l'énergie débitée dans le primaire est débitée comme haute tension d'énergie électrique au tube. Dans ce cas il y a un débit dans transformateur de

$$\frac{600}{80} = 750 \text{ joules par seconde.}$$

$$\frac{750}{4,2} = 180 \text{ calories par seconde.}$$

La capacité de chaleur du système est de 60000 calories par degré centigrade. Pour obtenir la température de 18° C. il faut à l'usage $\frac{60000}{180} \times 18 = 600$ secondes = 10 minutes.

Ce temps peut être augmenté par l'emploi de plus grandes chambres à air qui permettront une limite de température plus élevée.

7. *Schéma de l'appareil générateur et des conducteurs.* — Schéma dans lequel on voit l'enroulement à basse tension du transformateur et ceux de haute tension ; un enroulement est formé seulement par quelques tours relativement gros de fil de métal. Il est relié électriquement au fil de haute tension et sert de source de courant de chauffage pour le filament du tube à R X. Le courant de ce filament est réglé par un petit rhéostat. Des fils partant du neutre du circuit de haute tension, traversent la cuve de

métal et gagnent le milliampèremètre situé dans la boîte de contrôle.

A la partie inférieure une connexion relie la cuve de métal à la terre.

8. *Moyens mécaniques pour monter le rhéostat dans le circuit du filament.* — Une figure représente une section terminale supérieure de l'appareil générateur. On y voit un moyen mécanique pour régler de l'extérieur de la cuve le rhéostat dans le circuit du filament. Le petit rhéostat consiste en une spirale de fil de métal résistant, montée sur un support isolant circulaire, qui supporte aussi la douille dans laquelle la calotte de la cathode du tube se visse. Le curseur-contact du rhéostat, et deux roues dentées solidaires tournent autour d'un axe horizontal. Les dentures des roues sont dirigées en sens inverses. Des onglets de métal sont montés à frottement et supportés par les tiges de commande, chacun de ces onglets s'engageant dans une des dents des roues ; si une des branches de commande est tour à tour poussée et relâchée cela produit un mouvement régulier de rotation du curseur du rhéostat. Une action semblable de l'autre tige de commande entraîne un contre-mouvement inverse. Les tiges de commande manœuvrent au moyen de boutons-poussoirs d'ébonite fixés par un diaphragme souple dans la paroi latérale de la boîte métallique et pour obtenir une plus grande souplesse des pièces de tube Sylphon sont employées au lieu de diaphragmes plats. La surface intérieure de chaque diaphragme souple repose contre l'extrémité d'un des poussoirs. L'un des boutons-poussoirs

sert ainsi à augmenter le courant du filament — et naturellement le milliampérage augmente dans le tube — pendant que l'autre sert à le diminuer.

9. *La boîte de contrôle.* — C'est avec quelques changements celle déjà décrite avec l'appareil transportable. Elle contient un auto-transformateur avec une multiplicité de plots et le commutateur correspondant. Grâce à cette combinaison il est possible de varier le voltage fourni au transformateur de R X par quantité de 2 volts dans une échelle de 32 volts. Le voltage débité par l'auto-transformateur au transformateur de Rayons X est indiqué par un voltmètre et le voltage correspondant à la haute tension de voltage est connu par une graduation mesurée au spintermètre avant que le transformateur soit placé dans la cuve.

Le courant passant à travers le tube est mis en évidence par un milliampèremètre qui est relié à l'intérieur au point de milieu du secondaire de la haute tension. Il y a également un coupe-circuit, un interrupteur à minuterie, une lampe-témoin, et un interrupteur à poussoir pour les rayons.

10. *Méthode d'opérations.* — Si le voltage doit être maintenu constant à 60000 volts par exemple l'opération est très simple. Avec cet appareil particulier, une décharge mesurée au spintermètre montre que pour 60000 volts et 5 milliampères un voltage primitif de 105 est nécessaire.

La résistance dans le circuit du filament est alors réglée pour que le tube reçoive 5 milliampères quand le voltage primitif est de 105. Il n'est donc pas né-

cessaire de toucher à ce réglage du rhéostat dans le circuit du filament. Le milliampérage peut en conséquence être contrôlé par le commutateur de l'auto-transformateur. Et, comme l'expérience suivante le montrera, cela est possible sans affecter d'une manière appréciable le voltage de la haute tension, et dû au fait par le courant du filament est déterminé par le voltage primitif et que l'émission des électrons augmente avec le courant du filament.

Volts primitifs	Milliampères
101	4,2
104	6,0
106	8,7

Dans le tableau ci-dessus le voltage primitif a été augmenté de 5 % et cela a déterminé une augmentation de 107 % en milliampérage. Une décharge mesurée du transformateur montre que le voltage secondaire correspondant augmenté a été seulement de 3 %. En d'autres mots, la méthode ci-dessus de réglage permet d'augmenter le milliampérage de 107 % pendant que le voltage secondaire augmente seulement de 3 %.

Cette méthode d'opération a de grandes raisons de se recommander surtout pour les travaux de radiographie : Si le secteur est de voltage constant il est inutile de se préoccuper de la pose mais seulement de régler l'interrupteur à minuterie et de presser le bouton. Quand le secteur est de voltage très variable il est facile de voir que la lecture du voltmètre est préférable juste avant la fermeture de l'interrupteur et alors, si nécessaire, manœuvrer le commu-

tateur de l'auto-transformateur pendant la pose, afin de maintenir constant le milliampérage.

III. — Un appareil à refroidissement par air pour usage continu.

Pour opérer avec suite ou pour un service fatigant quelconque le refroidissement de l'huile peut être facilité par l'usage d'un ventilateur ou d'un souffleur et réfrigérant sur la partie extérieure de la cuve. Dans ce cas on peut faciliter ce refroidissement en construisant la cuve avec un métal bon conducteur de la chaleur comme le cuivre.

IV. — Refroidissement par eau pour radiothérapie ou autre application.

Des serpentins réfrigérants en cuivre peuvent être placés à l'intérieur de l'huile et à une distance non dangereuse du système de haute tension ou bien ils peuvent être soudés à l'extérieur de la cuve. Dans chacun des cas, de l'eau courante peut circuler dans les serpentins réfrigérants. Il est évident que ceux-ci diffèrent absolument des réfrigérants habituels de R X car ils ne peuvent, dans aucun cas, être un danger pour le malade. Cela ne nécessite pas non plus l'isolement de l'eau réfrigérante. D'autant que, les tubes de caoutchouc peuvent être employés avec satisfaction comme intermédiaires souples pour amener l'eau et l'évacuer des tubes réfrigérants de cuivre grâce à l'absence d'« effet corona », (le caoutchouc se désagrège très rapidement au voisinage des décharges de haute tension).

V. — Réfrigérant direct à eau de l'anode.

Ceci est aussi possible avec le système d'immersion à l'huile, car le corps tubulaire de l'anode peut être soudé à un plateau métallique, et ce plateau fixé par un joint à serrage dans un orifice de la paroi de la cuve. Dans ce cas il devient désirable de relier l'extrémité de la haute tension directement à la cuve métallique et ensuite à la terre.

Un autre figure montre une section d'un modèle de 40 milliampères — 60000 volts construit suivant ce type. L'extrémité de la cathode du tube de rayons X est attachée à un support contenant un petit rhéostat qui est monté d'une manière mobile sur le seul câble de haute tension du transformateur ; l'extrémité interne de ce câble de haute tension est reliée par l'intermédiaire d'un milliampèremètre à la cuve de métal et ensuite au sol. L'extrémité de l'anode du tube est aussi électriquement reliée à la cuve métallique. L'anode est refroidie par un courant d'eau. Comme le transformateur est petit, et comme ce modèle est destiné à des usages prolongés, un serpentín réfrigérant à eau se voit soudé à l'extérieur du récipient métallique. Une fenêtre d'ébonite ou d'aluminium, ou de toute autre matière perméable aux rayons X est montée dans la paroi de la cuve métallique opposée à la fenêtre perméable du tube radiogène.

VI. — Filament chauffé par une source extérieure.

Pour certaines applications, l'extrémité de la cathode du tube peut avantageusement être reliée à la cuve métallique et au sol. Ce système permet d'avoir le filament incandescent et de fermer l'interrupteur de rayons et donne le contrôle de la température du filament en dehors de l'huile, et si on le désire, le rend complètement indépendant du voltage de haute tension. Ceci, naturellement, tend à l'extrême souplesse de l'opération.

VII. — Applications possibles du type d'appareil à immersion dans l'huile.

Pour les travaux de radiographie il semble extrêmement pratique, d'employer un appareil comparable au premier. Des appareils de plus grande puissance de ce même type peuvent également être satisfaisants. Un pour 50 milliampères et 60000 volts a été construit ; c'est simplement une réplique plus grande du premier pesant 33 kilogrammes. Dans le champ de la radiographie c'est peut-être plus spécialement pour les travaux de grande puissance que l'élimination des risques de la haute tension sera la plus appréciée. L'application d'un tel appareil à la radioscopie générale semble évident. On verra que lorsqu'il est employé sous la table il permet la possibilité de grands placements du tube. Pour le contrôle radioscopique dans les réductions de fractures

ou pour tout travail chirurgical, le type d'appareil immergé dans l'huile semble spécialement indiqué car il élimine tout danger électrique, pour le chirurgien et ses assistants, aussi bien qu'il écarte les risques de danger d'incendie inhérents à l'usage de haute tension électrique en présence de vapeurs d'éther. Il peut de plus être installé en dessous de la table du chirurgien sans nécessiter aucune précaution pour éviter le sang ou l'eau.

En thérapie le système immergé dans l'huile offre des avantages spéciaux ; à côté des avantages généraux, qui seront résumés plus loin, il peut être d'un grand secours pour tout travail sous le bras et dans le traitement des cavités du corps. Car le tube à Rayons X peut être placé dans une petite cage cylindrique partant de l'ensemble de la cuve. Cette boîte métallique est reliée au sol et peut être refroidie par l'eau, pouvant donc sans danger être mise en contact avec le patient : dans ce cas il sera possible d'approcher le focus du tube à une très petite distance de la peau.

En thérapeutique expérimentale le système permet de se servir, dans une chambre de dimensions ordinaires, des plus hauts voltages auxquels un tube à rayons X peut être poussé.

VIII. — Avantage du système à immersion dans l'huile.

- A. — Élimination du danger de secousses électriques.
- B. — Élimination du danger de feu en présence d'éther.

- C. — Élimination de l'effet corona ; ni bruit ni odeur.
- D. — Rend facile tout moyen de protection car, si nécessaire, la cuve elle-même peut être recouverte d'une enveloppe de plomb.
- E. — Utilisation possible même de petites chambres pour l'emploi de haute tension.
- F. — Suppression de l'éclairement causé par le filament.
- G. — Possibilité de se rapprocher du malade.
- H. — Rend le tube mécaniquement plus solide en permettant l'usage d'extrémités plus courtes et d'un corps d'anode plus court aussi.
- I. — Donne une plus grande conduction de chaleur du focus à l'extrémité extérieure de l'anode en diminuant la distance que la chaleur doit traverser.
- J. — Coopération dans le mouvement de la chaleur, de l'extrémité extérieure de l'anode, l'huile étant un milieu réfrigérant plus effectif que l'air.
- K. — Permet l'usage sans danger et sans inconvénients de courant d'eau pour le refroidissement de l'huile ou de l'anode.
- L. — Diminue la fragilité en plaçant le tube dans de bonnes conditions et dans une enceinte métallique remplie d'huile. Évite de plus toute manipulation du tube.
- M. — Élimine tous les effets de l'humidité sur l'appareil, considération très importante dans les pays humides. Cela évite également le dépôt sur le tube d'une couche conductible de sel au bord de la mer.

IX. — Limitation de la méthode.

Avec un tel appareil il est cependant obligatoire pour des travaux de diagnostic que le focus du tube se maintienne stationnaire dans l'espace ; comme le poids du tube et du transformateur est évidemment plus grand que celui du tube seul, il devient nécessaire que le support de tube soit plus robuste, et partant plus grand et plus lourd que pour soutenir le tube seul.

BIBLIOGRAPHIE

- I. — Le Tube Coolidge et ses propriétés.
- II. — Les moyens d'utilisation : transformateurs, conducteurs, Appareillages.
- III. — Les accidents et les moyens de protection.
- IV. — Applications.

ABRÉVIATIONS

- J.R.E.* . . . Journal de Radiologie et d'Electrologie.
B.S.R. . . . Bulletin de la Société de Radiologie Médicale
de France.
C.R.A.S. . . . Comptes rendus de l'Académie des Sciences.
A.J.R. . . . The American Journal of Roëntgenology.
G.E.R. . . . Général Electric Review.
A.R.E. . . . Archives of Radiology and Electrotherapy.
Phy. R. . . . Physical Review.
Phil. T.R.S. Philosophical Transcriptions of Royal So-
ciety.
A.E.M.P. . . . Archives d'Electricité Médicale et de Physio-
thérapie.
R.El. . . . La Revue Electrique.
R.G.E. . . . Revue Générale d'Electricité.
Lum. . . . La lumière Electrique.
Elect. . . . L'Electricien.
Ecl.El. . . . L'Eclairage Electrique.
Ind.El. . . . L'Industrie Electrique.
P.R.S.M. . . . Procedures of the Royal Society of Medicine.

I. — Le Tube Coolidge et ses propriétés.

- F. Arcelin.** — Quelques recherches sur le fonctionnement des tubes producteurs de Rayons X (*J.R.E.*, mai-juin 1919).
- M. Van de Maele.** — L'électronique et les radiations en thérapeutique (*Revue des Archives Médicales Belges*, mars 1919).
- Coolidge et Moore.** — Les R.X. provenant de sources autres que le point d'impact dans les tubes à pure décharge d'électrons. 1° *G.E.R.*, avril 1917 ; 2° *A.R.E.*, nov., p. 176 et déc. 1917, p. 216.
- H. Guillemillot.** — La valeur des tubes à Rayons X (*J.R.E.*, sept.-oct. 1918).
- Aug. Lumière.** — Sur la précision des images radiographiques (*J.R.E.*, mai-juin 1918).
— Sur les foyers de radiations émis par les tubes employés en Radiologie (sept. oct. 1918).
- Sir Rutherford, L.-J. Barnes et H. Richardson.** — *Philosophical Magazine* (sept. 1915).
- M. de Broglie.** — *Journal de Physique* (février 1914).
— Nature des Rayons X (*C.R.A.*, nov. 1913, juillet 1916, octobre 1916, 24 décembre 1919).
- M. de Broglie et Blizard.** — Communication à la Société Française de Physique (2 juin 1916): Détermination des constantes pratiques du Tube Coolidge.
- Boll et Mallet.** — *C.R. Académie des Sciences* (25 sept. 1916).
— *Paris Médical*, oct. 1917.
- Cluzet.** — Sur le dosage en radiothérapie par la méthode électroscopique (*Lyon Médical*, avril 1919).
- Langmuir.** — *General Electric Review* (1916).
— *Physical Review* (1913).
- Duane, Hunt et Webster.** — *Physical Review* (août 1915).
- Beatty.** — *Philosoph. Transcrip. of Royal Society* (1913 et 1918).

Kaye. — X Rays.

A. Dauvilliers. — *Revue Générale d'Electricité* (mars 1917).

— *Thèse de Sciences* (Paris 1920).

Ledoux-Lebard et Dauvilliers. — *C.R. Académie des Sciences* (24 mars 1919).

Ledoux-Lebard. — *Journal de Radiologie et d'Electrologie* (mars-avril 1917) ;

— *Bulletin de la Société de Radiologie Médicale*,

— *The American Journal of Roëntgenology* (déc. 1915).

H. Clyde Snook. — Le développement de la Radiologie (*A.J.R.*, 7 juil. 1917).

H. Guillemillot (d'après M. de BROGLIE). — Sur les progrès de nos connaissances concernant les Rayons de Roëntgen (Génération du rayonnement et rayons secondaires) (*J.R.E.*, nov.-déc. 1918).

Erasmus Ellis. — Progrès récents de la Radiologie (*A.R.E.*, fév.-mars 1918).

R. Briquart. — Sur une modification de la méthode fluorométrique et son application à la mesure du rayonnement des Ampoules Coolidge (*C.R.A.*, 28 avril 1919).

H. Pilon. — Le Tube Coolidge. (*Notice des Etablissements Pilon*).

— Le Tube Coolidge (Masson, 1919).

— Propriétés du rayonnement du Tube Coolidge. (*J.R.E.*, juillet-août 1916).

— Description d'un nouveau modèle de Tube Coolidge à Radiateur (*J.E.R.*, mai-juin 1918).

G. Rechou. — Le Tube Coolidge (*Paris Médical*, juin 1917).

G. Richard. — Le rôle médical de l'Ampoule Coolidge (*Thèse de Paris*, 1920).

J.-S. Shearer. — Le Tube Coolidge en Radiographie et en Radioscopie (*J.E.R.*, mars-avril 1919).

— Conseils pratiques pour l'emploi du Tube Coolidge (*J.E.R.*, juin 1920).

Ch.-L. Martin et G.-W. Holmes. — Quelques expériences avec le Tube Coolidge (*A.J.R.*, octobre 1919).

II. — Les moyens d'utilisation : Transformateurs. Conducteurs. Appareillages.

Loppe. — Les transformateurs de courants alternatifs.

P. Janet. — Leçons d'Electrotechnique générale, t. I et II.

Mauduit. — Les machines électriques.

Cadiot, Du Bos, Boy de la Tour. — Electricité industrielle.

Marec. — Les enroulements industriels.

Charbonneau. — Les courants alternatifs de haute fréquence.

W.-T. Taylor. — Notes pratiques sur les transformateurs modernes à haute tension (*R. E.*, tome XVII, p. 482).

J. Rezetman. — La réaction de dispersion des transformateurs statiques avec enroulements concentriques (*Lum.*, 2^e série, tome XV, p. 291).

Henry. — Notes sur la construction des transformateurs statiques (*Ind. El.*, tome XXI, p. 5, 36, 59, 62).

W. Rogowski. — Sur le coefficient de dispersion d'un transformateur à enroulements en disques et bobines sectionnées (*Lum.*, 2^e série, tome VII, p. 308).

A. Reiset. — Sur les huiles des transformateurs (*Lum.*, 2^e série, tome XXIX, p. 7).

D. Brooks. — Sur l'emploi de l'huile comme isolant sur les hauts potentiels (*Lum. él.*, 1^{re} série, tome XL, p. 429).

Trewers Williams. — Sur l'échauffement des bobines (*Lum. El.*, 2^e série, VIII, p. 82).

Roy. — Recherches théoriques et expérimentales sur l'échauffement des conducteurs par le courant (*Lum.*, 2^e série, IV, p. 163; III, p. 94, 134, 163).

Steinmetz. — Sur le circuit magnétique (*Lum. El.*, XXXIX, p. 335, 380).

— Sur la loi de l'hystérésis (*Ind. El.*, I, p. 88).

— Formule de Steinmetz pour représenter les pertes d'énergie par hystérésis (*Lum. El.*, XL, p. 531).

- Weike.** — Chaleur développée dans le fer par hystérésis (*Ecl. El.*, XIII, p. 602).
- Sauter.** — Aimantation d'un tore par une bobine ne le recouvrant qu'en partie (*Ecl.*, XIV, p. 39).
- Meylan.** — Sur l'emploi des tôles de qualité spéciale pour la construction des transformateurs (*Ind. El.*, XVI, 343).
- De l'influence des joints dans les circuits magnétiques (*Electr.*, 2^e série, V, p. 6).
- Ewing.** — La résistance magnétique des joints (*Ind. El.*, I, p. 472).
- Rohr.** — Propriétés magnétiques des tôles (*Ecl. El.*, XVII, p. 448).
- Hospitalier.** — Sur le calcul rapide des forces magnéto-motrices (*Ind. El.*, I, p. 82, 460).
- Bary.** — La règle de Maxwell sur le flux de force maximum (*Ind. El.*, XI, p. 373).
- B. et F. Bournes.** — Les effets des hautes tensions sur les matières isolantes (*Lum.*, 1^{re} série, tome XLIV, p. 42).
- E. Jona.** — Distances explosibles dans l'air, les huiles et autres liquides isolants (*Ecl. El.*, XXXIV, p. 53).
- Sur l'essai des isolants à très haute tension (*Ecl. El.*, XL, p. 272).
- Kennelly.** — Sur le coefficient de température du cuivre employé dans les enroulements (*Ecl. El.*, XLVIII, p. 229).
- Crocker.** — Sur les variations de résistance du cuivre avec la température (*Ecl. El.*, II, p. 63).
- A. C. Jordan.** — Méthode de chauffage de la spirale de Coolidge (*P. R. S. M.*, janvier 1918, *A. R. E.*, mars 1918).
- Hernaman-Johnson.** — Une méthode de chauffer le Tube Coolidge par courant continu sans l'aide d'accumulateurs ou autres transformateurs (*A. R. E.*, 3 novembre 1917).
- Considérations sur les différentes méthodes actuelles de chauffer le filament du Tube Coolidge (*A. F. R. E.*, mai 1918).

Habibe. — Ampoules radiogènes et transformateurs (*Thèse de Paris*, 1919).

W. Coolidge et Moore. — Un poste radiologique transportable (*G. E. R.*, janvier 1918).

— (*A. R. E.*, octobre 1918).

III. — Les accidents et les moyens de protection.

VII^e Congrès International de Radiologie. — (Lyon, juillet 1914.)

Guillemainot. — Sur les actions biologiques lentes des radiations qui sillonnent les laboratoires de Radiologie (*C. R.*, Société de Biologie, 10 janvier 1919).

Chaillous et Laquerrière. — Radiodermite grave consécutive à 3 radiographies (*J. R. E.*, mai-juin 1918).

P. Aubourg. — A propos du traitement de certaines radiodermites professionnelles (*J. R. E.*, sept.-oct. 1918).

E. Albert-Weill. — Les accidents causés par les Rayons X (*Paris Médical*, 1^{er} février 1919).

G. Guarini. — Un cas de radiodermite grave succédant à une radiographie (*La Radiologica medica*, sept.-oct. 1919).

A. Béclère. — Les dangers de la Radiothérapie (*Paris Médical*, juin 1917).

Hernaman-Johnson. — De la protection en radioscopie : considérations sur les rayons diffusés et les rayons secondaires (*A. R. E.*, février 1919).

Th. Nogier. — Procédés de protection à réaliser dans l'application des Rayons X (*A. E. M. P.*, mars 1918).

J.-S. Shearer. — Les dangers de l'électrocution en Radiologie (*A. J. R.*, juillet 1917).

Mignon. — La protection en Radiologie (*J. R. E.*, juillet-août 1918).

Delherme. — La protection du radiologiste, du chirurgien et de leurs aides au cours des opérations radiologiques (*Presse Médicale*, 26 décembre 1918).

Parra. — La protection du radiologiste, du chirurgien et de

leurs aides contre les Rayons X (*Thèse de Paris*, janvier 1919).

M.-L. Gunther. — Précautions à prendre dans les installations radiologiques intensives (*J. R. E.*, novembre-décembre 1919).

H. Béclère. — Les moyens de protection du malade et du médecin avec le matériel Coolidge (*B. S. R.*, janvier 1920).

W. Coolidge. — Appareil générateur de Rayons X immergé dans huile (*A. J. R.*, avril 1920).

Belot. — Châssis Belot-Faraday (*B. S. R.*, janvier-mai 1920).

Bergonié. — Plateformes isolantes de protection pour laboratoires de Radiographie et de Radioscopie (*A. E. M. P.*, février, 1920).

— Précautions à prendre (*A. E. M. P.*, décembre 1919).

Laquerrière. — Précautions à prendre dans les installations électro radiologiques (*J. E. R.*, mai 1920).

IV. — Applications.

De Rio Branco. — Méthode de localisation et d'extraction des projectiles par la double projection simultanée à l'aide de deux ampoules radiogènes fonctionnant simultanément (*Bulletin de la Société de Chirurgie*, 20 mars 1918).

H.-C. Gage. — La Fluoroscopie pratiquée simultanément de deux plans (*Journal de Radio et d'Electrologie*, avril-mai 1919).

M. Major Coupe. — Procédé d'extraction des projectifs par les ampoules jumelées (*Bulletin de Radiologie du S. S. Militaire*, in *J. Radiologie et Electrologie*, mars-avril 1918).

E.-E. Nelthorpe. — Variation de la durée de l'exposition des plaques radiographiques suivant la dureté du tube et l'intensité du courant (*A. R. El.*, août 1918).

Ombredanne et Ledoux-Lebar. — Localisation et extraction des projectiles. (Masson 1918).

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	7

PREMIÈRE PARTIE

Le Tube Coolidge à Radiateur.

<i>I. — Principe.</i>	11
<i>II. — Description et caractéristique.</i>	14
A. — Vide	14
B. — Cathode	16
C. — Anticathode anode	16
D. — Auto-sélection.	17
E. — Puissance	17
F. — Dimensions.	18
<i>III. — Rendement</i>	19
A. — Rayonnement	19
B. — Rendement.	21
C. — Endurance	24
D. — Constance	24
E. — Pouvoir séparateur	25
<i>IV. — Résultat et utilisation pratiques des caractéristiques</i>	27

DEUXIÈME PARTIE

Modes d'utilisation du Tube Coolidge à Radiateur.

Le « Meuble Coolidge ».

<i>I. — Des transformateurs au point de vue électro-technique</i>	37
A. — Lois générales.	39

B. — Rendement d'un transformateur. . .	41
C. — Choix des enroulements.	46
D. — Choix des dimensions du noyau magnétique	47
E. — Auto-transformateurs	48
F. — Construction d'un transformateur . .	51
a) Circuit magnétique	51
b) Enroulements.	52
c) Isolants.	53
d) Montage	54
II. — <i>La Source électronique et le chauffage du filament.</i>	56
A. — Génératrice ou commutatrice	57
B. — Accumulateurs.	57
C. — Transformateurs	58
D. — Conducteurs et montage	62
III. — <i>Le circuit de haute tension et le « Meuble Coolidge » proprement dit</i>	67

TROISIÈME PARTIE

Les dispositifs de protection.

I. — <i>Protection contre les Rayons X</i>	73
A. — Cupules hermétiques.	82
B. — Dispositifs accessoires	85
II. — <i>Protection contre la haute tension</i> . . .	85
III. — <i>Meubles de « Sûreté »</i>	90
IV. — <i>Utilisation pratique et conclusions</i> . . .	93
CONCLUSIONS	104
APPENDICE. — Aperçu du Matériel américain actuel.	106
Appareil générateur de Rayons X, immergé dans l'huile (W.-D. Coolidge).	108
BIBLIOGRAPHIE	125

TABLE DES FIGURES

FIGURES.	Pages
1. — Tube Coolidge à Radiateur	15
2. — Anode et cathode du Tube Coolidge à Radiateur.	15
3. — Radiographies d'un genou, prises successive- ment en faisant varier la pénétration . . .	33
4. — Schéma d'un auto-transformateur et de son montage sur une installation	49
5. — Batterie d'accumulateurs (Gaiffe-Gallot et Pi- lon).	59
6. — Transformateur de filament (Gaiffe-Gallot et Pi- lon)	59
7. — Schéma de montage direct d'un Tube Coolidge à Radiateur	63
8. — Schéma de montage direct sur Trolleys . . .	65
9. — Meuble auto-transformateur de réglage pour utilisation des Tubes Coolidge avec le com- mutateur tournant (Gaiffe-Gallot et Pilon). .	69
10. — Commutateur tournant et son meuble de ré- glage, modifiés pour l'emploi des Tubes Coo- lidge (Drault et Raulot-Lapointe).	71
11. — Meuble Coolidge transportable (Gaiffe-Gallot et Pilon)	73
12. — Meuble Coolidge à pénétration variable (Gaiffe- Gallot et Pilon)	75
13. — Cupule hermétique pour Tubes Coolidge à Ra- diateur (Gaiffe-Gallot et Pilon)	84
14. — Meuble Coolidge à pénétration variable, cupule hermétique et conducteurs de sûreté (Drault et Raulot-Lapointe)	93

15. — Châssis de sûreté Belot-Faraday, vue antérieure
(Gaiffe-Gallot et Pilon) 96
16. — Châssis de sûreté Belot-Faraday, vue postérieure. 96
17. — Appareil et Tube générateurs de Rayons X, immergé dans l'huile. 110

